

## 明 細 書

## 金属基複合材製成形品の成形方法

## 技術分野

本発明は、金属基複合材料からなるビレットを加圧成形して、部位別に異なるセラミックス体積含有率を有する金属基複合材製成形品を成形する方法に関する。

## 背景技術

金属基複合材料を用いて製品の特定制品の強度を高める製造方法がある。強度をそれほど必要としない部分に通常の金属を使用し、強度が必要な部分に金属基複合材料を用いることで、強度の確保と生産コストの削減を図るようにしたプーリの製造方法が、例えば、特開2001-316740公報に開示されている。上記プーリの製造方法について、図21に基づいて説明する。

図21に示されたプーリ301は、中央に複合材製のハブ302を設け、ハブ302にアルミニウム合金製のディスク303を一体的に形成し、ディスク303に緩衝部材304を介して溝部305を嵌合したもので、プーリ301を軸に取り付ける際のボルトの締め付け力を、強度の高いハブ302で受けることができる。

上記プーリ301の製造方法は、先ず、複合材料を押出し成形で筒にし、筒を切断してハブ302を形成する。その次に、ハブ302をプーリ用鑄造金型にセットして、金型に溶解したアルミニウム合金を充填する。

しかし、上記のプーリの製造方法では、複合材製のハブ302及びアルミニウム合金製のディスク303といった二つの部品を別々に加工する工程が必要になり、生産に手間がかかる。また、複合材製のハブ302を形成する工程及びアルミニウム合金製のディスク303を鑄造する工程の作業内容はともに複雑で、手間がかかるという問題点がある。

一方、金属基複合材料を用いて冷却性性能をよくした複合材の製造方法が、

- 2 -

例えば特開 2002-66724 公報に開示されている。この製造方法は、金属基複合材製のブロックをプレス機で押し、金属基複合材料の母材と補強材とを分けるようにして補強材を偏らせるようにした技術であって、偏った補強材の熱伝導率によって成形品の冷却性性能が向上する。この複合材の製造方法について、図 22A、図 22B、および図 22C に基づいて説明する。

図 22A に示された複合材からなる製品 311 は、基板部 312 と、該基板部 312 の表面に形成された複数のフィン 313 とを含む。

図 22B に示すように、第 1 に、金属基複合材料 314 をアルミニウム合金 315 と炭化珪素の微粒子 316 とで製造し、製造した金属基複合材料 314 を用いてブロック 317 を形成する。第 2 に、ブロック 317 を加熱した状態で成形型 318（フィン用空間 319 を有する。）に入れ、ブロック 317 を加圧する。

図 22C に示すように加圧する過程で、アルミニウム合金 315 がフィン用空間 319 に流入してアルミニウム合金製のフィン 313 が成形される。

しかし、この複合材の製造方法では、製造の手間を省けるが、複数のフィン 313 内に炭化珪素の微粒子を適度に入れることはできず、フィン 313 はアルミニウム合金のみとなり、強度は低下し過ぎる。つまり、フィン 313 の中央まで炭化珪素を所望の体積含有率だけ分布させることはできず、結果的に複合材料の強度を生かし難い。

そこで、セラミックス体積含有率を成形品の部位別に異ならせた金属基複合材製成形品をより容易に製造することができる技術が望まれる。

#### 発明の開示

本発明においては、金属基複合材製成形品の成形方法であって、金属からなるマトリックスとセラミックスからなる補強材とを混合して金属基複合材料からなるビレットを得る工程と、前記ビレットを所定温度に加熱する工程と、前記所定温度に加熱されたビレットを金型を用いて加圧成形する工程と、から成り、成形前の前記ビレットの高さを  $H$  とし、成形後のビレットの高さを  $h_1$  とすることにより、ビレットの圧縮比を  $H/h_1$  としたとき、該圧縮比を成形品の部位別に

- 3 -

変えることで、該成形品のセラミックス体積含有率を部位別に異ならせるようにしたことを特徴とする金属基複合材製成形品の成形方法が提供される。

このように、ピレットを加圧成形する際、圧縮比を部位別に変えることで、成形の歪みを部位別に異ならせ、成形品のセラミックス体積含有率を部位別に異ならせるようにした。このため、セラミックス体積含有率が部位別に異なった金属基複合材製成形品をより容易に製造することができるという利点がある。

前記ピレットは、好ましくは、部位別に高さに変化をもたせるようにする。従って、金型を閉じるだけで、成形品のセラミックス体積含有率を部位別に変えることができ、成形品のセラミックス体積含有率を部位別に変える成形作業は容易になる。

前記加圧成形は、好ましくは、分割金型を用いて行う。従って、分割された型は個別に加圧制御可能となり、セラミックス体積含有率を高めたい部位に対応する型をまず最初に加圧する。その後、残りの部位に対向する残りの型を加圧する。その結果、セラミックス体積含有率の異なる部位を多く設けることができるという利点がある。

前記加圧成形は、好ましくは、前記ピレットに接触する部位に断熱手段を施した金型を用いて行う。従って、ピレットに接触する部位の熱伝導率を制御しない場合に比べ、成形品の材料の表層と深層のセラミックス体積含有率のばらつきを小さくすることができるという利点がある。

前記マトリックスとしてはアルミニウム合金を用い、前記セラミックスとしてはアルミナの凝集体を用いるのが好ましい。従って、溶解したアルミニウム合金とアルミナの凝集体を混合するだけでよく、また、アルミナの凝集体の製造は容易であるから、結果的に、金属基複合材料の製造は容易であり、セラミックス体積含有率を部位別に変えた成形品の生産効率の向上を図ることができる。

前記加熱工程は、好ましくは、前記ピレットを580℃以上に加熱し、金属からなるマトリックスの流動性を高くする。

#### 図面の簡単な説明

図1A～図1Cは、本発明の第1の成形方法で成形された金属基複合材から

なる第 1 の成形品を示した図である。

図 2 A～図 2 I は、本発明の第 1 の成形方法における複合材料製造工程、ビレットの形成工程、加熱工程及び加圧工程を示した図である。

図 3 は、第 1 の成形方法における圧縮比と、第 1 の成形品のセラミックス体積含有率の関係を示したグラフである。

図 4 は、第 1 の成形方法で使用する金型の加圧速度と第 1 の成形品のセラミックス体積含有率の関係を示したグラフである。

図 5 A～図 5 D は、第 1 の成形方法における複合材料製造工程およびビレット形成工程とは異なる実施例示した図である。

図 6 は、第 2 および第 3 の成形方法で成形された金属基複合材からなる第 2 および第 3 の成形品を示した図である。

図 7 は、本発明の第 2 の成形方法において、金型に加熱されたビレットをセットする状態を示した図である。

図 8 は、第 2 の成形方法における加圧工程を示した図である。

図 9 は、第 2 の成形方法で成形された成形品の中央部のセラミックス体積含有率と、周縁部のセラミックス体積含有率との関係を示したグラフである。

図 10 A～図 10 C は、本発明の第 3 の成形方法を示した図である。

図 11 は、本発明の第 4 の成形方法で成形された金属基複合材からなる第 4 の成形品を示した図である。

図 12 A～図 12 D は、本発明の第 4 の成形方法における加圧工程を示した図である。

図 13 A～図 13 C は、本発明の第 5、第 6 および第 7 の成形方法で成形された金属基複合材からなる第 5、第 6 および第 7 の成形品を示した図である。

図 14 A～図 14 C は、本発明の第 5 の成形方法に用いられるビレット、および第 5 の成形方法における加圧工程を示した図である。

図 15 A～図 15 C は、本発明の第 6 の成形方法に用いられるビレット、および第 6 の成形方法における加圧工程を示した図である。

図 16 A～図 16 C は、本発明の第 7 の成形方法に用いられるビレット、および第 7 の成形方法における加圧工程を示した図である。

- 5 -

図 17 A～図 17 E は、分割金型を用いた本発明の第 8 の成形方法における加圧工程、および該方法により成形された第 8 の成形品を示した図である。

図 18 A～図 18 D は、本発明の第 9 の成形方法における加圧工程を示した図である。

図 19 A～図 19 D は、本発明の第 10 の成形方法における加圧工程を示した図である。

図 20 は、断熱手段を施さない金型、ピレットに接触する一部に断熱手段を施した金型、およびピレットに接触する全面に断熱手段を施した金型を用いて成形された成形品のセラミックス体積含有率の関係を示したグラフである。

図 21 は、従来における複合材を一部に用いた成形品であるプーリを示した図である。

図 22 A～図 22 C は、従来の複合材の製造方法を示した図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

図 1 A～図 1 C は、本発明の第 1 の成形方法で成形された金属基複合材からなる第 1 の成形品を示している。

図 1 A に示された第 1 の成形品 11 は、金属基複合材製成形品であって、例えば自動車の部品や産業機械の部品として用いられる。

第 1 の成形品 11 は、円盤状の板材で、成形品の中央部 12 と、該中央部 12 に連なる周縁部 13 とからなる。中央部 12 は、周縁部 13 の強度よりも強い。このため、第 1 の成形品 11 は、強度をそれほど必要としない部分を周縁部 13 とし、強度が必要な部分を中央部 12 とすることで、強度の確保と同時に軽量化を図ることができる。

h1 は成形後のピレット高さで、板の厚さに相当する。

第 1 の成形品 11 の材質は、金属基複合材であり、金属 14 とセラミックス 15 とからなる。

図 1 B に示されるように中央部 12 は、金属 14 にセラミックス 15 が約 40% 含有された部位である。金属 14 は、アルミニウム合金を用いた。セラミックス 15 は、例えば、アルミナの凝集体 21 である。

- 6 -

ここで、セラミックス体積含有率を $V_f$ とすると、セラミックス体積含有率 $V_f$  (%) は、(セラミックスの体積 / (マトリックスの体積 + セラミックスの体積))  $\times 100$ で求められる。

中央部 12 のセラミックス体積含有率 $V_f$ は $V_{m1}$  (約 40 %) である。このときのヤング率を $E_{m1}$ とする。

図 1 C に示された周縁部 13 は、金属 14 にセラミックス 15 が約 18 % 含有された部位である。

周縁部 13 のセラミックス体積含有率 $V_f$ は $V_{e1}$  (約 18 %) である。このときのヤング率は $E_{e1}$ で、ヤング率 $E_{e1}$ は、 $E_{e1} < E_{m1}$ である。つまり、第 1 の成形品 11 のセラミックス体積含有率 $V_f$ は、中央部 12 から周縁部 13 に向かって漸減する。その結果、第 1 の成形品 11 のヤング率は、中央部 12 から周縁部 13 に向かって漸減する。

次に、上記金属基複合材からなる第 1 の成形品 11 の第 1 の成形方法について、図 2 A ~ 図 2 I に基づいて説明する。第 1 の成形方法は、複合材料製造工程と、ピレット形成工程と、ピレット加熱工程と、加圧工程とからなる。これらの 4 つの工程について具体的に順に説明する。

図 2 A ~ 図 D は、第 1 の成形方法における複合材料製造工程及びピレット形成工程を示している。

図 2 A において、複合材の製造工程では、マトリックスとセラミックスを混合して金属基複合材料を製造する。具体的には、マトリックスとしては、アルミニウム合金 22 を用いた。アルミニウム合金 22 としては、日本工業規格 (JIS) の A6061 を使用した。セラミックスは、アルミナの凝集体 21 を用いた。

図 2 B は、図 2 A の 2 B 部の拡大図であって、凝集体 21 を模式的に示している。凝集体 21 は、アルミナ ( $Al_2O_3$ ) の粉 23 が集まって、一つの塊になったものである。凝集体 21 の粒径は、約  $50 \mu m$  程度である。アルミナ ( $Al_2O_3$ ) の粉 23 の径は、約  $1 \mu m$  程度のものを用いた。

なお、セラミックスとしては、アルミナ ( $Al_2O_3$ ) 粉以外のものを用いることも可能である。

第 1 の成形方法では凝集体を用いたが、凝集体となっていない粉末を用いる

ことも可能である。

さらに、補強材としては、セラミックス以外に炭素繊維（長・短繊維）を挙げることができる。

まず、図 2 A に示すように、アルミニウム合金 2 2 を所定重量だけ溶解し、溶解したアルミニウム合金 2 2 に所定重量の凝集体 2 1 を入れて攪拌する。攪拌したアルミニウム合金 2 2 を適当な形状、大きさのインゴット型 2 4（図 2 C 参照）に入れ、凝固させることで金属基複合材料 2 7（図 2 C 参照）の塊を得る。

図 2 C において、ピレット形成工程では、凝固させることで得た金属基複合材料 2 7 の塊を第 1 ピレット 3 1 として用いる。H は成形前のピレット高さ、D 1 は直径を示す。

ピレットの形状やインゴット型によっては、金属基複合材料 2 7 の塊を加工してもよく、例えば、複数のピレットに切断し、所定形状に切削してもよい。

図 2 D は、図 2 C の 2 D 部の拡大図であり、金属基複合材料 2 7 を模式的に示している。金属基複合材料 2 7 は、アルミニウム合金 2 2 とアルミナの粉 2 3 が集まった凝集体 2 1 とからなる。

金属基複合材料 2 7 のセラミックス体積含有率  $V_f$  は  $V_b$ （約 23～24%）である。金属基複合材料 2 7 のヤング率を  $E_b$  とする。

このように第 1 の成形方法では、マトリックスは、アルミニウム合金 2 2 を用い、セラミックスはアルミナの凝集体 2 1 を用いたもので、溶解したアルミニウム合金 2 2 とアルミナの凝集体 2 1 を混合するだけでよく、手間がかからない。また、アルミナの凝集体 2 1 の製造も容易である。結果的に、金属基複合材料 2 7 の製造は容易となり、セラミックス体積含有率を部位別に変えた成形品の生産効率の向上を図ることができる。

このような金属基複合材料 2 7 を用いた第 1 ピレット 3 1（図 2 C 参照）を製造した後、ピレット加熱工程を開始する。

図 2 E～図 2 I は、第 1 の成形方法のピレット加熱工程及び加圧工程を示している。

図 2 E に示したピレット加熱工程では、第 1 ピレット 3 1 を加熱炉 3 2 で所定の温度条件にて加熱する。加熱炉 3 2 は、炉本体 3 3 と、熱源 3 4 と、熱電対

35と、熱電対35の情報および予め設定した条件に基づいて熱源34を制御する制御装置36とを備える。

ビレット加熱工程の温度条件に用いた所定温度は、アルミニウム合金22の固相線(solidus)以上(例えば、JIS規格のA6061では580℃以上)の温度である。

ビレットの加熱温度の上限は任意であるが、温度を上げ過ぎると後工程での凝固に時間がかかる点や必要以上の加熱は加熱工程に時間がかかる点などの生産効率及び品質を基準にした適度な温度に上限を設定するのが望ましい。

図2Fに示した加圧工程では、加熱工程において580℃以上に加熱された第1ビレット31を金型37に矢印aの如くセットし、金型37を取り付けたプレス機41の稼働により所定形状に成形する。

金型37は、下型42と、上型43とからなり、図に示していない温度調整手段を備えている。下型42および上型43はともに平坦な型面44、45を有する。金型37は、第1ビレット31を軸長手方向(白抜き矢印の方向)に圧縮して横に広げる据え込みタイプである。図に示した金型37の形状や構成は一例である。

温度調整手段は任意であり、例えば流体や電気で温度調整可能に構成する。設定温度は、例えば、300℃に設定する。金型の温度を300℃に保持するのが望ましいが、温度調整手段を設けずに、常温の金型でも成形可能である。

プレス機41の操作盤(図示せず)に設定する主な成形条件は、プレス圧力P、加圧速度 $V_p$ 、下降ストロークSである。プレス圧力Pは、ビレットの投影面積に対する面圧( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )で示す。下降ストロークSは、ビレットに接触した位置から下限までの距離であるが、成形品の板の厚さ(成形後のビレット高さ $h_1$ )を基準とする。

つまり、金型37を用い、プレス圧力P、加圧速度 $V_p$ 、所定の下降ストロークで580℃以上の第1ビレット31に圧力を加えて第1の成形品を成形する。

図2G～図2Iは、第1ビレット31の加圧状態を示している。

図2Gに示すように、第1ビレット31の加圧を、プレス圧力P、加圧速度 $V_p$ で、下降ストロークS1まで進める。この下降ストロークS1までの過程で



は、 $580^{\circ}\text{C}$ 以上で流動性がよくなったマトリックスであるところのアルミニウム合金22は、加圧でつぶれ始めると同時に、横（図の左右方向および図の表裏方向）の外方に矢印b、bの如く流動し始める。一方、凝集体21の粒は、ほとんどが横の外方に移動せずに、下方に移動し始める。

引き続き、上型43の下降を続け、図2Hに示すように下降ストローク $S_2$ （ $S_2 > S_1$ ）に達すると、第1ピレット31の高さは $H$ から $H_a$ となる。下降ストローク $S_2$ に達する過程では、アルミニウム合金22は、さらに横の外方に凝集体21の粒の間からしみ出るように流動する。一方、凝集体21は、該凝集体21同士の接触や衝突により破壊し始め、小さな凝集体やアルミナ（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）の粒子になり始める。

図2Iで示すように、さらに下降を続けると、下限である下降ストローク $S_3$ に達すると同時に、第1の成形品11が完成する。

下降ストローク $S_3$ までの過程では、アルミニウム合金22は外方への流動を続け、一方、凝集体21の粒は、圧力が加わり凝集体が崩れ、小さな凝集体やアルミナ（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）の粒子となって、ほとんどは第1ピレット31の中央である第1の成形品11の中央部12に止まるが、残りはアルミニウム合金22の外方への流出とともにアルミニウム合金22によって押し流され横の外方（矢印c、cの方向）へ流動する。その結果、第1の成形品11の中央部12のセラミックス体積含有率 $V_f$ は $V_{m1}$ （約40%）まで高まり、ヤング率 $E_{m1}$ となり、第1の成形品11の周縁部13のセラミックス体積含有率 $V_f$ は $V_{e1}$ （約18%）まで下がり、ヤング率 $E_{e1}$ となる。

第1の成形品11は、金属基複合材料27（図2D参照）のセラミックス体積含有率 $V_b$ に比べ、周縁部13から中央部12までのセラミックス体積含有率は、 $V_{e1} < V_b < V_{m1}$ である。

ここで、圧縮比を $R_h$ とすると、第1の成形品11の形状の場合は、圧縮比 $R_h$ は中央部12の圧縮比とし、ほぼピレットの直径 $D_1$ （図2C参照）の範囲における加工前後の寸法比とする。中央部12の圧縮比 $R_h$ は、 $R_h = H/h_1$ であり、例えば、6.8である。中央部12以外の残りの部位の圧縮比 $R_h$ は、つまり周縁部13の圧縮比を $R_h$ とすると、周縁部13の圧縮比 $R_h$ は、 $R_h =$

0/h 1で、圧縮比R hを設定していないものとする。

つまり、第1の成形方法では、圧縮比R hを第1の成形品11の中央部12と周縁部13とで変える。

図3は、第1の成形方法の圧縮比と第1の成形品のセラミックス体積含有率の関係を示したグラフである。横軸は中央部の圧縮比R hであり、縦軸はセラミックス体積含有率V fである。成形の条件は、プレス圧力Pはピレットの投影面積に対する面圧で650 kg/cm<sup>2</sup>、加圧速度V pは約130 mm/秒、加熱する所定温度は580℃以上、金型温度は300℃である。

●印は、第1の成形品11の中央部12のセラミックス体積含有率V fを示す。

○印は、第1の成形品11の周縁部13のセラミックス体積含有率V fを示す。

中央部12のセラミックス体積含有率V fは、圧縮比R hの増加にほぼ比例して増加する。周縁部13のセラミックス体積含有率V fは、圧縮比R hの増加にほぼ比例して減少する。

言い換えると、中央部12のセラミックス体積含有率V fの増加に伴い、周縁部13のセラミックス体積含有率V fは、減少する。つまり、圧縮比R hを制御することで、セラミックス体積含有率V fを制御することができる。

本発明の成形方法では、圧縮比R hは、1～10の範囲に設定する。好ましくは、2以上に設定する。2以上とすることで、成形品のセラミックス体積含有率V fの漸減若しくは漸増を形成しやすくする。

圧縮比R hが2未満では、成形品のセラミックス体積含有率V fの漸減若しくは漸増を形成し難い。

圧縮比R hが10を超えると、主にピレットを円柱に形成した場合には、固相線以上（例えば、JIS A6061では580℃以上）の温度まで昇温したピレットを金型に置く際に、ピレットが崩れたり倒れたりすることがあり、成形できなくなる。なお、ピレットの形状によっては、圧縮比R hが10を超えてもピレットが崩れたり倒れたりする現象が起きないから、そのような形状のピレットでは、圧縮比R hを10以上に設定してもよい。

図4は、第1の成形方法で使用する金型の加圧速度と第1の成形品のセラミックス体積含有率の関係を示したグラフである。横軸は加圧速度 $V_p$ であり、縦軸はセラミックス体積含有率 $V_f$ である。成形の条件は、プレス圧力 $P$ はピレットの投影面積に対する面圧で $650\text{ kg/cm}^2$ 、圧縮比 $R_h$ は6.8、加熱する所定温度は $580^\circ\text{C}$ 以上、金型温度は $300^\circ\text{C}$ である。

●印は、第1の成形品11の中央部12のセラミックス体積含有率 $V_f$ を示す。

○印は、第1の成形品11の周縁部13のセラミックス体積含有率 $V_f$ を示す。

中央部12のセラミックス体積含有率 $V_f$ は、加圧速度 $V_p$ の増加にほぼ反比例して低下した後、変化しなくなり、ピレットの状態と同様となる。

周縁部13のセラミックス体積含有率 $V_f$ は、加圧速度 $V_p$ の増加にほぼ比例して高くなった後、変化しなくなり、ピレットの状態と同様となる。

これは、加圧速度 $V_p$ が速いと、アルミニウム合金の横への流動速度も速くなり、アルミナの凝集体21は止まることができずに、アルミニウム合金の流動とともに横に移動するためと考えられる。

このように、加圧速度 $V_p$ を制御することでも、セラミックス体積含有率 $V_f$ を制御することができる。

本発明の成形方法においては、加圧速度 $V_p$ は、 $5\sim 300\text{ mm/秒}$ の範囲に設定する。

加圧速度 $V_p$ が $5\text{ mm/秒}$ 未満では、中央部12におけるマトリックスに混合したセラミックスや炭素繊維などの補強材の体積含有率（セラミックス体積含有率 $V_f$ ）はほとんど高くない。

加圧速度 $V_p$ が $300\text{ mm/秒}$ を超えると、中央部12及び周縁部13における体積含有率（セラミックス体積含有率 $V_f$ ）は変化しない。

このように、加圧速度 $V_p$ 若しくは圧縮比 $R_h$ を制御することによって、第1の成形品11を所望の形状に成形すると同時に、第1の成形品11の中央部12から周縁部13にかけてセラミックス体積含有率 $V_f$ を漸減（傾斜）することができる。

次に、図 2 A～図 2 D で説明した複合材の製造工程およびビレット形成工程とは別の複合材の製造工程およびビレット形成工程について、図 5 A～図 5 D に基づいて説明する。

まず、図 5 A に示すように、凝集アルミナ粉末とマグネシウム (Mg) の混合粉末 5 1 およびアルミニウム合金 5 2 をアルミニウム基複合材製造装置 5 4 の雰囲気炉 5 5 内に入れる。参照番号 5 3 は制御装置である。

次に、雰囲気炉 5 5 内の酸素を除去するために雰囲気炉 5 5 内を真空ポンプ 5 6 で真空引きする。一定の真空度に達したら真空ポンプ 5 6 を止めて、ポンプ 5 7 から雰囲気炉 5 5 にアルゴンガス (Ar) 5 8 を矢印 d 1 の如く供給する。その後、加熱コイル 5 9 で矢印 d 2 の如く混合粉末 5 1 及びアルミニウム合金 5 2 の加熱を開始する。

雰囲気炉 5 5 内の温度を温度センサ 6 1 で検出しつつ昇温 (自動) させる。所定温度 (例えば、約 750℃～約 900℃) に達する過程で、アルミニウム合金 5 2 は溶解する。この過程では、混合粉末 5 1 のマグネシウム (Mg) は蒸発する。その際、雰囲気炉 5 5 内はアルゴンガス (Ar) 5 8 の雰囲気下にあるので、アルミニウム合金 5 2 及びマグネシウム (Mg) が酸化することはない。

次に、図 5 B に示すように、雰囲気炉 5 5 内を窒素ガス (N<sub>2</sub>) 6 2 で加圧し、窒化マグネシウム 6 4 の作用で混合粉末 5 1 の凝集アルミナ粉末を還元し、混合粉末 5 1 にアルミニウム合金 5 2 の溶湯を浸透させて金属基複合材料 6 5 を得ると同時にアルミニウム基複合材ビレット 6 6 を得る。

具体的には、真空ポンプ 5 6 でアルゴンガス 5 8 を抜きながら、雰囲気炉 5 5 に窒素ガス 6 2 を矢印 d 4 の如く供給する。この際、加圧 (例えば、大気圧 + 約 0.5 kg/cm<sup>2</sup>) する。雰囲気炉 5 5 内の雰囲気は窒素ガス 6 2 に置換される。

雰囲気炉 5 5 内が窒素ガス 6 2 の雰囲気になると、窒素ガス 6 2 は、マグネシウム (Mg) と反応して窒化マグネシウム (Mg<sub>3</sub>N<sub>2</sub>) 6 4 を生成する。この窒化マグネシウム 6 4 はアルミナを還元するので、アルミナは濡れ性 (wettability) がよくなる。その結果、凝集アルミナ粉末間にアルミニウム合金 5 2 の溶湯が浸透する。アルミニウム合金 5 2 が凝固してアルミニウム基複合材ビレット 6 6 が

完成する。

図 5 C に示されたアルミニウム基複合材ビレット 6 6 (以下、単に「ビレット 6 6」と略記する。) は、混合粉末 5 1 にアルミニウム合金 5 2 が浸透したものである。

図 5 D に示すように、必要に応じて、ビレット 6 6 を NC (数値制御) 旋盤 6 7 で所定の外径寸法に切削加工する。

なお、図 2 A ~ 図 2 D、図 5 A ~ 図 5 D に示した複合材の製造工程及びビレット形成工程は一例であって、本発明においては複合材を製造する方法は任意である。

図 6 は、後述する第 2 および第 3 の成形方法で成形された金属基複合材からなる第 2 および第 3 の成形品を示している。第 2 の成形品 6 8 は、ディスクブレーキに用いられるブレーキディスクである。第 3 の成形品 7 1 は、断面 U 字状の部材で、例えばディスクブレーキに用いられるキャリパーであり、図 10 A に詳細に示されている。

ブレーキディスクからなる第 2 の成形品 6 8 は、中央に形成された締結部 7 2 と、締結部 7 2 に連ねて形成された筒状の連結部 7 3 と、連結部 7 3 の上端から連ねて径方向外方に突出するよう形成された錨状の摺動部 7 4 と、からなる。

締結部 7 2 は、車両の駆動軸側に複数のボルトで固定される部位である。締結部 7 2 のセラミックス体積含有率  $V_{m2}$  は約 40% である。

摺動部 7 4 は、上下の摺動面 7 5、7 5 を有し、摺動面 7 5、7 5 にパッド (図示せず) を押圧して摩擦を得る。この摩擦でブレーキディスクの回転は制限される。

次に、前記金属基複合材からなる第 2 の成形品 6 8 を成形する第 2 の成形方法について、図 7 および図 8 A ~ 図 8 C に基づいて説明する。第 3 の成形品 7 1 を成形する第 3 の成形方法については後述する。第 2 の成形方法における複合材の製造工程及びビレット加熱工程は、第 1 の成形方法と同様であり、その説明を省略する。

図 7 を参照すると、第 2 の成形方法のビレット形成工程では、金属基複合材料 2 7 (図 2 C 参照) 又はアルミニウム基複合材ビレット 6 6 (図 5 C 参照) を

用いて第2ビレット77を円柱状に形成する。Hbは成形前の第2ビレット77の高さ、D2は直径を示す。

第2ビレット77を加圧する準備として、580℃以上の第2ビレット77を金型78に矢印eの如くセットする。その後、金型78を取り付けたプレス機41で加圧して所定形状に第2ビレット77を成形する。

金型78は、下型ダイ81と、上型パンチ82と、図に示していない温度調整手段と、を備える閉塞金型である。なお、金型78の形状や構成は一例である。

温度調整手段は、任意であり、例えば、流体や電気で温度調整可能に構成する。設定温度は、例えば300℃に設定する。金型の温度は常温でも可能である。

プレス機41の操作盤に設定する主な成形条件は、例えば、プレス圧力Pは約650kg/cm<sup>2</sup>、加圧速度Vpは約130mm/秒、下降ストロークSは47mmに設定した。つまり、金型78を用い、プレス圧力P、加圧速度Vp、所定の下降ストロークS、580℃以上で第2ビレット77に圧力を加えて第2の成形品を成形する。

図8A～図8Cは、第2の成形方法の加圧工程を示している。

図8Aに示すように、下降ストロークがS4となるよう上型パンチ82は下降する。このとき、第2ビレット77の高さは、HbからHcとなる。この第2ビレット77の高さがHcとなるまでの過程では、580℃以上のマトリックスであるところのアルミニウム合金22は、加圧でつぶれ始めると同時に、横（図の左右方向、図の表裏方向）外方に向けて矢印f、fの如く流動し始める。一方、凝集体21の粒は、分散した状態を維持し、ほとんどが横に移動せずに止まる。

図8Bに示すように、さらに上型パンチ82が下降を続けると、アルミニウム合金22は、さらに外方に凝集体21の粒の間からしみ出るように流動する。一方、凝集体21は、凝集体21同士の接触や衝突により破壊し始め、小さな凝集体やアルミナ（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）の粒子になり始める。

図8Cに示すように、引き続き上型パンチ82の下降を続け、上型パンチ82が下限の下降ストロークに達すると、第2の成形品68が完成する。h1は成形後のビレット高さで、板の厚さに相当する。

下限の下降ストロークに達するまでの過程では、アルミニウム合金22は外

方への流動を続ける。凝集体 21 の粒は、圧力が加わり凝集体が崩れ、小さな凝集体やアルミナ ( $Al_2O_3$ ) の粒子となって、ほとんどは第 2 の成形品 68 の中央部である締結部 72 に止まり、残りはアルミニウム合金 22 の外方への流動とともにアルミニウム合金 22 で押し流され外方 (矢印  $g$ ,  $g$  の方向) へ移動する。その結果、第 2 の成形品 68 の中央部であるところの締結部 72 のセラミックス体積含有率  $V_f$  は  $V_{m2}$  (約 40%) となり、第 2 の成形品 68 の周縁部であるところの摺動部 74 のセラミックス体積含有率  $V_f$  は  $V_{e2}$  (約 18%) となる。

ここで、第 2 の成形品 68 の圧縮比を  $R_h$  としたときに、締結部 72 の圧縮比  $R_h$  は、 $R_h = H_b / h_1$  で、例えば、6.8 である。摺動部 74 の圧縮比  $R_h$  は設定しない。つまり、第 2 の成形方法では、圧縮比  $R_h$  を第 2 の成形品 11 の締結部 72 と摺動部 74 とで変える。

図 9 は、第 2 の成形方法で成形された成形品の中央部のセラミックス体積含有率と周縁部のセラミックス体積含有率の関係を示したグラフである。横軸は中央部のセラミックス体積含有率  $V_f$  である。縦軸は周縁部のセラミックス体積含有率  $V_f$  である。成形の条件は、プレス圧力  $P$  はピレットの投影面積に対する面圧で  $650 \text{ kg/cm}^2$ 、加圧速度  $V_p$  は約  $130 \text{ mm/秒}$ 、加熱する所定温度は  $580^\circ\text{C}$  以上、金型温度は  $300^\circ\text{C}$  である。

また、図 9 のグラフは、図 1 で説明した第 1 の成形品 11 の中央部 12 のセラミックス体積含有率と周縁部 13 のセラミックス体積含有率の関係を示す。

中央部 (締結部) 72 のセラミックス体積含有率  $V_f$  の増加にほぼ比例して周縁部 (摺動部) 74 のセラミックス体積含有率  $V_f$  は減少する。

ここで、第 2 の成形品 68 (図 6 参照) はブレーキディスクである。ブレーキディスクの締結部 72 (図 6 参照) のセラミックス体積含有率  $V_f$  は、28 ~ 42% の範囲に設定する。

つまり、第 2 の成形方法では、中央部 (締結部) 72 のセラミックス体積含有率  $V_f$  は、28 ~ 42% の範囲に設定する。

中央部 (締結部) 72 のセラミックス体積含有率  $V_f$  が 28% 未満では、中央部 (締結部) 72 をボルトで取り付けた際に、ボルトの所定の締め付けトルクで締結部 72 が座屈することがある。

中央部（締結部） 7 2 のセラミックス体積含有率  $V_f$  が 4 2 % を超えると、セラミックスによって、加工性は悪くなり、生産コストが高くなる。

ブレーキディスクの周縁部（摺動部） 7 4 のセラミックス体積含有率  $V_f$  は、1 5 ~ 2 5 % の範囲に設定する。

周縁部（摺動部） 7 4 のセラミックス体積含有率  $V_f$  が 1 5 % 未満では、硬度が低下して耐磨耗性が低下する。

周縁部（摺動部） 7 4 のセラミックス体積含有率  $V_f$  が 2 5 % を超えると、セラミックスによって、研削や研磨など高精度を確保するための加工に手間がかかり、加工性は悪くなる。

なお、第 2 の成形方法の圧縮比と第 2 の成形品のセラミックス体積含有率の関係を示したものとして図 3 のグラフを見てもよい。また、第 2 の成形方法に用いた加圧速度と第 2 の成形品のセラミックス体積含有率の関係を示したものとして図 4 のグラフを見てもよい。

次に、本発明の第 3 の成形方法について、図 1 0 A ~ 図 1 0 C にも基づいて説明する。図 1 0 A は第 3 の成形品を示し、図 1 0 B および図 1 0 C は加圧工程を示している。

図 1 0 A において、第 3 の成形品 7 1 は、断面 U 字状の部材で、中央に形成した第 1 板部 8 4 と、第 1 板部 8 4 の両端から直角に延びる第 2 板部 8 5、8 5 とからなる。第 2 板部 8 5、8 5 は力  $F$ 、 $F$  を受ける。参照番号 8 6、8 6 はコーナ部、 $h_3$  は成形後のピレット高さで、板の厚さに相当する。

第 3 の成形品 7 1 は、第 2 板部 8 5、8 5 の先端側のセラミックス体積含有率  $V_f$  よりコーナ部 8 6、8 6 のセラミックス体積含有率  $V_f$  を大きくすることで、U 字状部材の強度の向上と軽量化とを図ったものである。

次に、金属基複合材からなる第 3 の成形品 7 1 を成形する第 3 の成形方法について説明する。複合材の製造工程及びピレット加熱工程は、第 1 の成形方法と同様であり、その説明を省略する。

図 1 0 B に示すように、第 3 の成形方法のピレット形成工程では、金属基複合材料 2 7（図 2 C 参照）又はアルミニウム基複合材ピレット 6 6（図 5 C 参照）を用いて第 3 ピレット 8 7 を形成する。第 3 ピレット 8 7 は、所定の幅、長さで



形成するとともに、成形前のビレット高さを $H_d$ に形成した板である。

加圧工程では、 $580^{\circ}\text{C}$ 以上の第3ビレット87を金型88に矢印の如くセットし、金型88を取り付けたプレス機41の稼働により所定形状に成形する。金型88は、下型ダイ91と、上型パンチ92と、図に示していない温度調整手段と、を備える。

プレス機41の操作盤に設定する主な成形条件は、プレス圧力 $P$ 、加圧速度 $V_p$ 、下降ストローク $S$ である。つまり、金型88を用い、プレス圧力 $P$ 、加圧速度 $V_p$ 、所定の下降ストローク $S$ で $580^{\circ}\text{C}$ 以上の第3ビレット87に圧力を加えて第3の成形品を成形する。

図10Cに示すように、上型パンチ92を下限までストロークさせることで、第3の成形品71が完成する。

第3ビレット87に圧力を加える過程では、既に説明したように、アルミニウム合金22は加圧でつぶれ始めると同時に、横（図の左右方向）の外方に凝集体21の粒の間からしみ出るように流動する。

一方、凝集体21は、凝集体21同士の接触や衝突により破壊するとともに圧力が加わり凝集体が崩れ、小さな凝集体やアルミナ（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）の粒子となつてほとんどは第1板部84からコーナ部86、86までの間に止まる。その結果、図10Aに示した第3の成形品71の第1板部84のセラミックス体積含有率 $V_f$ は $V_{m3}$ （約40%）、コーナ部86、86のセラミックス体積含有率 $V_f$ は約37%となる。つまり、大きな力がかかるコーナ部86、86のセラミックス体積含有率 $V_f$ を大きくすることで、コーナ部86、86の材料のヤング率を大きくし、U字状部材の強度の向上と軽量化を図ることができる。

第3の成形品71の周縁部であるところの第2板部85、85のセラミックス体積含有率 $V_f$ は $V_{e3}$ （約18%）となる。

ここで、第3の成形品71の第1板部84の圧縮比 $R_h$ は、 $R_h = H_d / h_3$ である。第2板部85、85の圧縮比 $R_h$ は設定せず、必要な板厚を設定する。つまり、第3の成形方法では、圧縮比 $R_h$ を第3の成形品71の第1板部84と第2板部85、85とで変える。

図13は、後述する本発明の第4の成形方法で成形された金属基複合材から

なる第４の成形品９４を示している。

第４の成形品９４は円筒部材であり、例えばシリンダブロックからなるケース９５に鑄包んだもので、例えばシリンダヘッドからなるフランジ９６に密着するシート面９７を有する。

第４の成形品９４は、周壁１０３のフランジ９６側の一端１０４から中央部１０５までの間のセラミックス体積含有率 $V_f$ は $V_{m4}$ である。このセラミックス体積含有率 $V_{m4}$ はビレット時のセラミックス体積含有率 $V_b$ （約２３～２４％）より高く、ケース９５の内側部１０１の他端１０６から中央部１０５までの間のセラミックス体積含有率 $V_e4$ は、ビレット時のセラミックス体積含有率 $V_b$ より低い。つまり、セラミックス体積含有率 $V_f$ を $V_{m4}$ まで高めた一端１０４にシート面９７を形成した。

シート面９７は、セラミックス体積含有率を $V_{m4}$ まで高めたことによって、フランジ９６を取り付けるボルトの締め付け力（軸力）に耐える強度を有し、ボルトの締め付けトルクによって発生した面圧 $p$ でフランジ９６が密着しても変形することではなく、例えば、油圧（作動油）や空圧（空気）の漏れを防ぎ、高圧を確保することができる。

つぎに、上記第４の成形品９４を成形する第４の成形方法について、図１２Ａ～図１２Ｄに基づいて説明する。複合材の製造工程及びビレット加熱工程は、第１の成形方法と同様であり、その説明を省略する。

図１２Ａに示すように、第４の成形方法のビレット形成工程では、金属基複合材料２７（図２Ｃ参照）又はアルミニウム基複合材ビレット６６（図５Ｃ参照）を用いて第４ビレット１０７を円柱形状に形成する。 $D_3$ は直径、 $H_e$ は成形前の第４ビレット１０７の高さを示す。

加圧工程では、５８０℃以上の第４ビレット１０７を金型１０８に二点鎖線で示すようにセットし、金型１０８を取り付けたプレス機４１の稼働により所定形状に成形する。

金型１０８は、下型ダイ１１１と、上型パンチ１１２と、図に示していない温度調整手段と、を備えている。この金型１０８を用い、プレス圧力 $P$ 、加圧速度 $V_p$ 、所定の下降ストロークで５８０℃以上の第４ビレット１０７に圧力を加

えて第4の成形品を成形する。

図12Bに示すように、第4ピレット107に圧力を加える過程において、前に説明したように、アルミニウム合金22は、凝集体21の粒の間から外方（矢印j、jの方向）にしみ出るように流動する。

一方、凝集体21は、凝集体21同士の接触や衝突により破壊し始め、小さな凝集体やアルミナ（ $Al_2O_3$ ）の粒子になり始める。

引き続き、図12Cに示すように、上型パンチ112を下限までストロークさせることで貫通させ、図11に示した第4の成形品94を得る。

第4ピレット107（図12B参照）に圧力を加え続ける過程においては、凝集体21に圧力が加わり凝集体が崩れて、小さな凝集体やアルミナ（ $Al_2O_3$ ）の粒子となり、これらの小さな凝集体やアルミナの粒子のほとんどは中央に止まり、残りはアルミニウム合金22の外方への流動とともにアルミニウム合金22によって押し流され横（図の左右方向、図の表裏方向）の外方へ移動する。その結果、第4の成形品94（図11参照）の中央部に相当する一端104のセラミックス体積含有率 $V_f$ は $V_{m4}$ （約40%）となり、第4の成形品94（図11参照）の周縁部であるところの他端106のセラミックス体積含有率 $V_f$ は $V_{e4}$ （約18%）となる。

ここで、 $h_4$ は成形後のピレット高さを示し、例えば1mmとする。上型パンチ112が貫通すると、成形後のピレット高さは0mmとなるが、1mmに設定した場合の一端104のセラミックス体積含有率 $V_f$ と比べて、セラミックス体積含有率 $V_f$ はほとんど変わらず、第4の成形品94（図11参照）の圧縮比 $R_h$ は、 $R_h = H_e / h_4$ である。周壁103の圧縮比 $R_h$ は設定せず、必要な板厚を設定する。

つまり、第4の成形方法では、圧縮比 $R_h$ を第4の成形品94の底側と周壁103とで変える。

図12Dに示すように、金型108（図12C参照）を開いて、第4の成形品94を取り出す。

次工程では、第4の成形品94を鋳型にセットし、鋳造する。

このように、本発明の成形方法において、圧縮比 $R_h$ を成形品の部位別に変

える際、第 1～第 4 の成形方法で説明したように、圧縮比  $R_h$  を第 1～第 4 の成形品 11, 68, 71, 94 のそれぞれの中央部に設定することで、第 1～第 4 の成形品のセラミックス体積含有率  $V_f$  を中央部と周縁部とで異ならせる。成形金型を閉じるだけで、自然にセラミックス体積含有率は成形品の部位別に異なるから、セラミックス体積含有率を成形品の部位別に異ならせた金属基複合材からなる成形品をより容易に製造することができる。

図 13A～図 13C は、本発明の第 5、第 6 および第 7 の成形方法で成形された金属基複合材からなる第 5、第 6 および第 7 の成形品を示している。

図 13A に示された第 5 の成形品 117 は、図 1A に示された第 1 の成形品 11 とはセラミックス体積含有率  $V_f$  の漸減の傾きが逆で、中央部 122 から周縁部 123 に向かってセラミックス体積含有率  $V_f$  が漸増する。具体的には、中央部 122 のセラミックス体積含有率は  $V_{m5}$  (約 18%) で、周縁部 123 のセラミックス体積含有率は  $V_{e5}$  (約 40%) である。この第 5 の成形品 117 は、中央部 122 のセラミックス体積含有率  $V_{m5}$  より周縁部 123 のセラミックス体積含有率  $V_{e5}$  が高い ( $V_{e5} > V_{m5}$ ) 円盤状の板材である。

また、金属基複合材料 27 (図 2C 参照) のセラミックス体積含有率  $V_b$  に比べ、中央部 122 及び周縁部 123 のセラミックス体積含有率は、 $V_{m5} < V_b < V_{e5}$  である。

中央部 122 のヤング率を  $E_{m5}$ 、周縁部 123 のヤング率を  $E_{e5}$  ( $E_{e5} > E_{m5}$ ) としたときに、金属基複合材料 27 (図 2C 参照) のヤング率  $E_b$  に比べ、中央部 122 及び周縁部 123 のヤング率は、 $E_{m5} < E_b < E_{e5}$  である。

図 13B に示された第 6 の成形品 118 は、中央部 124 から周縁部 125 に向かってセラミックス体積含有率  $V_f$  が漸減する。具体的には、中央部 124 のセラミックス体積含有率は  $V_{m6}$  (約 28%) で、周縁部 125 のセラミックス体積含有率は  $V_{e6}$  (約 20%) である。この第 6 の成形品 118 は、中央部 124 のセラミックス体積含有率  $V_{m6}$  より周縁部 125 のセラミックス体積含有率  $V_{e6}$  が低い ( $V_{e6} < V_{m6}$ ) 円盤状の板材である。

図 2C に示された金属基複合材料 27 のセラミックス体積含有率  $V_b$  に比

べ、中央部 1 2 4 のセラミックス体積含有率  $V_{m6}$  は高く、周縁部 1 2 5 のセラミックス体積含有率  $V_{e6}$  は、ほぼ同じである。

図 1 3 C に示された第 7 の成形品 1 2 1 は、第 6 の成形品 1 1 8 (図 1 3 B 参照) とはセラミックス体積含有率  $V_f$  の漸減の傾きが逆で、中央部 1 2 6 から周縁部 1 2 7 に向かってセラミックス体積含有率  $V_f$  が漸増する。具体的には、中央部 1 2 6 のセラミックス体積含有率は  $V_{m7}$  (約 20%) で、周縁部 1 2 7 のセラミックス体積含有率は  $V_{e7}$  (約 28%) である。この第 7 の成形品 1 2 1 は、中央部 1 2 6 のセラミックス体積含有率  $V_{m7}$  より周縁部 1 2 7 のセラミックス体積含有率  $V_{e7}$  が高い ( $V_{e7} > V_{m7}$ ) 円盤状の板材である。

図 2 C に示された金属基複合材料 2 7 のセラミックス体積含有率  $V_b$  に比べ、中央部 1 2 6 のセラミックス体積含有率  $V_{m7}$  は高く、周縁部 1 2 7 のセラミックス体積含有率  $V_{e7}$  は、ほぼ同じである。

以下、金属基複合材からなる第 5、第 6 および第 7 の成形品 1 1 7、1 1 8、1 2 1 を成形する第 5、第 6 および第 7 の成形方法について順に説明する。

まず、図 1 4 A ~ 図 1 4 C において、第 5 の成形品を成形する第 5 の成形方法について説明する。複合材の製造工程及びビレット加熱工程は、第 1 の成形方法と同様であり、その説明を省略する。

図 1 4 A に示すように、第 5 の成形方法のビレット形成工程では、金属基複合材料 2 7 (図 2 C 参照) 又はアルミニウム基複合材ビレット 6 6 (図 5 C 参照) を用いて第 5 ビレット 1 2 8 を形成する。第 5 ビレット 1 2 8 は、中央に穴部 1 3 2 を有する板状の環状体 1 3 1 で、成形前のビレット高さである環状体 1 3 1 の高さは  $H_g$  である。

図 1 4 B に示すように、580℃以上の第 5 ビレット 1 2 8 を金型 1 3 3 に矢印の如くセットし、金型 1 3 3 を取り付けたプレス機 4 1 の稼働により所定形状に成形する。

金型 1 3 3 は、下型ダイ 1 3 4 と、上型パンチ 1 3 5 と、図に示していない温度調整手段と、を備えている。この金型 1 3 3 を用いて、プレス圧力  $P$ 、加圧速度  $V_p$ 、所定の下降ストロークでもって、580℃以上の第 5 ビレット 1 2 8 に圧力を加えて、図 1 3 A に示された第 5 の成形品 1 1 7 を成形する。

引き続き、図 1 4 C に示すように上型パンチ 1 3 5 を下限までストロークさせることで、第 5 の成形品 1 1 7 を得る。

具体的には、第 5 ビレット 1 2 8 に圧力を加える過程において、アルミニウム合金 2 2 は、加圧でつぶれ始めると同時に、横（図の左右方向、図の表裏方向）方向である穴部 1 3 2 の中心に向けて矢印  $k$ 、 $k$  の如く凝集体 2 1 の粒の間からしみ出るように流動する。

一方、凝集体 2 1 は、凝集体 2 1 同士の接触や衝突により破壊するとともに圧力が加わり凝集体が崩れ、小さな凝集体やアルミナ ( $Al_2O_3$ ) の粒子となつてほとんどは環状体 1 3 1 側に止まり、穴部 1 3 2 側の内方に移動しない。その結果、第 5 の成形品 1 1 7 の中央部 1 2 2 のセラミックス体積含有率  $V_f$  は  $V_{m5}$  (約 18%) となるとともに、周縁部 1 2 3 のセラミックス体積含有率  $V_f$  は  $V_{e5}$  (約 40%) となる。

ここで、 $h_1$  は成形後のビレット高さを示し、第 5 の成形品 1 1 7 の板の厚さに相当する。第 5 の成形品 1 1 7 の環状体 1 3 1 の圧縮比  $R_h$  は、 $R_h = H_g / h_1$  である。中央部 1 2 2 の圧縮比  $R_h$  は設定しない。

つまり、第 5 の成形方法では、圧縮比  $R_h$  を第 5 の成形品 1 1 7 の環状体 1 3 1 と中央部 1 2 2 とで変える。

次に、図 1 3 B に示された第 6 の成形品を成形する第 6 の成形方法について、図 1 5 A ~ 図 1 5 C に基づいて説明する。複合材の製造工程及びビレット加熱工程は、第 1 の成形方法と同様であり、その説明を省略する。

図 1 5 A に示すように、第 6 の成形方法のビレット形成工程では、金属基複合材料 2 7 (図 2 C 参照) 又はアルミニウム基複合材ビレット 6 6 (図 5 C 参照) を用いて第 6 ビレット 1 3 6 を形成する。第 6 ビレット 1 3 6 は、円盤部 1 3 7 と、円盤部 1 3 7 の中央に凸状に一体に形成された円柱部 1 3 8 と、からなる。円盤部 1 3 7 の厚さを  $t_6$  に形成し、円柱部 1 3 8 の高さは、成形前のビレット高さである  $H_j$  に形成した。つまり、第 6 ビレット 1 3 6 は、円盤部 1 3 7 の厚さ  $t_6$  に比べ、円柱部 1 3 8 に高さ  $H_j$  だけ高さに変化をもたせものである。

図 1 5 B に示すように、580℃以上の第 6 ビレット 1 3 6 を金型 1 4 1 に矢印の如くセットし、金型 1 4 1 を取り付けたプレス機 4 1 の稼働により所定形

状に成形する。

金型 141 は、下型ダイ 142 と、上型パンチ 143 と、図に示していない温度調整手段と、を備えている。この金型 141 を用いて、プレス圧力  $P$ 、加圧速度  $V_p$ 、所定の下降ストロークでもって、 $580^{\circ}\text{C}$  以上の第 6 ビレット 136 に圧力を加えて第 6 の成形品 118（図 13B 参照）を成形する。

引き続き、図 15C に示されるように上型パンチ 143 を下限までストロークさせることで、第 6 の成形品 118 を得る。

具体的には、第 6 ビレット 136 に圧力を加える過程においては、円柱部 138 がつぶれ始めると同時に、円柱部 138 のアルミニウム合金 22 は加圧で外方（矢印の方向）に凝集体 21 の粒の間からしみ出るように流動する。

一方、円柱部 138 の凝集体 21 は、凝集体 21 同士の接触や衝突により破壊するとともに圧力が加わり凝集体が崩れ、小さな凝集体やアルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) の粒子となってほとんどは円柱部 138 側に止まる。その結果、第 6 の成形品 118 の中央部 124 のセラミックス体積含有率  $V_f$  は  $V_{m6}$ （約 28%）となる。周縁部 125 のセラミックス体積含有率  $V_f$  は  $V_{e6}$ （約 20%）となる。

ここで、 $h_1$  は成形後のビレット高さを示し、第 6 の成形品 118 の板の厚さに相当する。第 6 の成形品 118 の中央部 124 の圧縮比  $R_h$  は、 $R_h = H_j / h_1$  である。周縁部 125 の圧縮比  $R_h$  は、 $R_h = t_6 / h_1$  で、約 1 である。

つまり、第 6 の成形方法では、圧縮比  $R_h$  を第 6 の成形品 118 の中央部 124 と周縁部 125 とで変える。

次に、図 13C に示された第 7 の成形品を成形する第 7 の成形方法について、図 16A～図 16C に基づいて説明する。複合材の製造工程及びビレット加熱工程は、第 1 の成形方法と同様であり、その説明を省略する。

図 16A に示すように、第 7 の成形方法のビレット形成工程では、金属基複合材料 27（図 2C 参照）又はアルミニウム基複合材ビレット 66（図 5C 参照）を用いて第 7 ビレット 144 を形成する。第 7 ビレット 144 は、中央に円形の凹部 146 を有する円板 145 で、凹部 146 の底の厚さを  $t_7$  に形成し、円板 145 の高さは、成形前のビレット高さである  $H_k$  に形成したものである。つまり、第 7 ビレット 144 は、凹部 146 の底の厚さ  $t_7$  に比べ、円板 145 に高

- 24 -

さ $H_k$ だけ高さに変化をもたせたものである。

図16Bに示すように、580℃以上の第7ピレット144を金型147に矢印の如くセットし、金型147を取り付けたプレス機41の稼働により所定形状に成形する。

金型147は、下型ダイ151と、上型パンチ152と、図に示していない温度調整手段と、を備えている。この金型147を用いて、プレス圧力 $P$ 、加圧速度 $V_p$ 、所定の下降ストロークでもって、580℃以上の第7ピレット144に圧力を加えて第7の成形品121（図13C参照）を成形する。

引き続き、図16Cに示されるように上型パンチ152を下限までストロークさせることで、第7の成形品121を得る。

具体的には、第7ピレット144に圧力を加える過程においては、円板145がつぶれ始めると同時に、円板145のアルミニウム合金22は加圧で内方（矢印の方向）に凝集体21の粒の間からしみ出るように流動する。

一方、凝集体21は、凝集体21同士の接触や衝突により破壊するとともに圧力が加わり凝集体が崩れ、小さな凝集体やアルミナ（ $Al_2O_3$ ）の粒子となつてほとんどは凹部146側に移動せずに止まる。その結果、第7の成形品121の中央部126のセラミックス体積含有率 $V_f$ は $V_{m7}$ （約20%）になるとともに、周縁部127のセラミックス体積含有率 $V_f$ は $V_{e7}$ （約28%）となる。

ここで、 $h_1$ は成形後のピレット高さを示し、第7の成形品121の板の厚さに相当する。第7の成形品121の中央部126の圧縮比 $R_h$ は、 $R_h = H_k / h_1$ である。周縁部127の圧縮比 $R_h$ は、 $R_h = t_7 / h_1$ で、1未満である。

つまり、第7の成形方法では、圧縮比 $R_h$ を第7の成形品118の中央部126と周縁部127とで変える。

このように、本発明の第5、第6および第7の成形方法では、圧縮比 $R_h$ を成形品のそれぞれの部位別に変える際、第5、第6および第7の成形品を成形する際に用いられる第5、第6および第7ピレットは、部位別に高さに変化をもたせたので、金型を閉じるだけの一回の動作で、成形後のピレット高さ $h_1$ を変えらることなく、第5、第6および第7の成形品のセラミックス体積含有率を部位別



に変えることができ、成形作業は容易になる。

次に、第 8 の成形品を成形する第 8 の成形方法について、図 17 A ~ 図 17 E に基づいて説明する。複合材の製造工程及びビレット加熱工程は、第 1 の成形方法と同様であり、その説明を省略する。

図 17 A において、第 8 の成形方法におけるビレット形成工程では、金属基複合材料 27 (図 2 C 参照) 又はアルミニウム基複合材ビレット 66 (図 5 C 参照) を用いて第 8 ビレット 153 を形成する。第 8 ビレット 153 は、直径 D8、厚さ t8 の円板である。

第 8 の成形方法の加圧工程においては、分割金型 154 が用いられる。該分割金型 154 は、下型ダイ 155 と、分割上型パンチ 156 と、図に示していない温度調整手段と、を備える。

分割上型パンチ 156 は、中央に取り付けたインナーパンチ 157 と、インナーパンチ 157 の外側に配置されたアウトパンチ機構 161 と、インナーパンチ 157 に設けられた穿孔機構 162 と、を備える。

アウトパンチ機構 161 及び穿孔機構 162 は、油圧装置 163 に接続され、予め成形条件を設定した制御装置 164 の情報に基づいて制御される。

このような分割金型 154 に 580℃ 以上の第 8 ビレット 153 を矢印の如くセットし、分割上型パンチ 156 を取り付けたプレス機 41 の稼働により成形を開始する。

まず、アウトパンチ機構 161 のアウトパンチ 165 を矢印 m、m の如く下限まで下降させる。引き続き分割上型パンチ 156 をプレス機 41 で下降させる。

図 17 B に示されるように、分割上型パンチ 156 を下降させることで、アウトパンチ 165 を第 8 ビレット 153 の周縁部 166 に当てるとともに、プレス機 41 の下降 (矢印 A の方向) の継続によってアウトパンチ 165 で周縁部 166 を厚さ  $t_e$  に成形する。その過程で、周縁部 166 のアルミニウム合金 22 は第 8 ビレット 153 の中央側へ矢印 n、n の如く流動する。金属基複合材料 27 (図 2 C 参照) のセラミックス体積含有率に比べ、周縁部 166 のセラミックス体積含有率  $V_f$  は高くなる。周縁部 166 の圧縮比  $R_h$  は、 $R_h = t_8 / t_e$  であって、例えば 6 以上である。

- 26 -

続いて、インナーパンチ 157 での成形を開始する。

図 17 C に示されるように、プレス機 41 によりインナーパンチ 157 を下降させて、インナーパンチ 157 で第 8 ビレット 153 の中央部 167 の厚さが  $t_m$  になるように該中央部 167 を凹状に成形する。その際、プレス機 41 の下降速度に同期させてアウトパンチ機構 161 を後退（破線の矢印の方向）させることで、アウトパンチ 165 の下降を避けて静止状態を保ちつつアウトパンチ 165 で周縁部 166 を押さえ続ける。

成形後の中央部 167 の厚さ  $t_m$  は成形前の厚さ  $t_8$  とほぼ同じであり、中央部 167 の圧縮比  $R_h$  は、 $R_h = t_8 / t_m$  で、約 1 である。当然、成形後の中央部 167 のセラミックス体積含有率  $V_f$  は第 8 ビレット 153 のセラミックス体積含有率とほぼ同じである。

次に、穿孔機構 162 で中央部 167 に孔を形成する。

図 17 D に示すように、穿孔機構 162 の 4 本のピン 168 を中央部 167 内に矢印の如く押し込み、4 つの取り付け孔 169 を形成することで、第 8 の成形品 171 が完成する。

前記 4 本のピン 168 を中央部 167 に押し込む過程において、該ピン 168 で押された押し部 172 にアルミニウム合金 22 の流動及び凝集体 21 の移動が起き、押し部 172 のセラミックス体積含有率は高くなる。その結果、取り付け孔 169 の周辺部の強度を高くすることができる。

図 17 E で示されるように、第 8 の成形品 171 は、例えばブレーキディスクである。該ブレーキディスクをボルトでハブに固定する際、大きな力がかかる取り付け孔 169 の周辺部分の強度を高めたものである。金属基複合材料 27（図 2 C 参照）の強度（ヤング率  $E_b$ ）に比べ、取り付け孔 169 が形成された周辺の押し部 172 の強度は高い。

摺動部 173 の強度及び耐磨耗性は、金属基複合材料 27（図 2 C 参照）より優れている。

分割金型 154 を用いることで、第 8 ビレット 153 の形状を変えることなく、第 8 の成形品 171 の周縁部 166 の圧縮比  $R_h$  と中央部 167 の圧縮比  $R_h$  を変えることができ、結果的に、セラミックス体積含有率の高い部位を変える

ことができる。

次に分割金型 1 5 4 を用いた別の成形方法について、2 の例を挙げて説明する。

第 1 の例では、最初にインナーパンチ 1 5 7 で押圧することで、中央部 1 6 7 のセラミックス体積含有率を高め、その次に、アウトパンチ機構 1 6 1 で押圧することで、周縁部 1 6 6 の形状を仕上げる。この場合の形状は、図 6 の第 2 の成形品 6 8 (ブレーキディスク) とほぼ同じ形状である。また、セラミックス体積含有率も同様に中央部 1 6 7 から周縁部 1 6 6 に向かって漸減する。

第 2 の例では、最初にインナーパンチ 1 5 7 で押圧することで、中央部 1 6 7 のセラミックス体積含有率を高める。その次に、複数のピン 1 6 8 で取り付け孔 1 6 9 を形成すると同時に押し部 1 7 2 のセラミックス体積含有率を高める。最後に、アウトパンチ機構 1 6 1 で押圧することで、周縁部 1 6 6 の形状を仕上げる。その結果、図 8 の第 2 の成形品 6 8 (ブレーキディスク) に高強度の取り付け孔 1 6 9 周辺部を形成することができる。

このように、分割金型 1 5 4 を用いると、第 8 ビレット 1 5 3 の厚さが一定であっても、アウトパンチ 1 6 5 で第 8 ビレット 1 5 3 の周縁部 1 6 6 のセラミックス体積含有率を決定し、インナーパンチ 1 5 7 で第 8 ビレット 1 5 3 の中央部 1 6 7 のセラミックス体積含有率を決定し、穿孔機構 1 6 2 の 4 本のピン 1 6 8 で中央部 1 6 7 の 4 つの取り付け孔 1 6 9 を形成した押し部 1 7 2 のセラミックス体積含有率を決定することができる。つまり、セラミックス体積含有率の異なる部位を多く設けることができる。

次に、本発明の金属基複合材からなる第 9 の成形品を成形する第 9 の成形方法について、図 1 8 A ~ 図 1 8 D に基づいて説明する。複合材の製造工程、ビレット形成工程及びビレット加熱工程は、図 7 の第 2 の成形方法と同様であり、その説明を省略する。

第 9 の成形方法では、セラミックス皮膜を一部分に施した部分断熱金型 7 8 B を用いることを特徴とする。

図 1 8 A に示された部分断熱金型 7 8 B は、下型ダイ 8 1 B と、上型パンチ 8 2 B と、図に示していない温度調整手段とを備えており、第 2 の成形方法にお

いて用いられた金型 78 (図 7 参照) と型の寸法は同じである。部分断熱金型 78B の母材の材質は、例えば合金工具鋼 (alloy tool steel) を選択した。

下型ダイ 81B は、ピレットに接触する部位である第 1、第 2、第 3 および第 4 型面 177、178、179、181 を有する。第 1 型面 177 には、セラミックス皮膜 182 からなる断熱手段がプラズマ溶射で施されている。

セラミックス皮膜 182 は断熱を主な目的とし、熱伝導率の小さい材料を用いた。

セラミックス皮膜 182 の溶射材料は、ジルコニア ( $ZrO_2$ ) である。ジルコニア以外の溶射材料としては、ケイ酸アルミニウム ( $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ ) を挙げることができる。ケイ酸アルミニウムの代表的なものとしては、ムライト ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) がある。

第 9 の成形方法では、 $100\mu m \sim 1000\mu m$  の皮膜厚さ  $t_i$  を有するセラミックス皮膜 182 が用いられる。

皮膜厚さが  $100\mu m$  未満になると、皮膜が薄すぎて断熱性は悪くなり、所定温度のピレット 77B (図 18B を参照) を第 1 型面 177 にセットした際に、ピレットは急冷 (quench) され、ピレットの表層 (例えば、深さ  $0.5mm$ ) に発生する急冷層は厚くなる。その結果、成形品の表層と深層 (厚さの中心) との間におけるセラミックス体積含有率  $V_f$  のばらつきは大きくなる。ばらつきは、データ中の最大値と最小値の差を用いた。

皮膜厚さが  $1000\mu m$  を超えると、金型と接触している時間内での断熱性は最大となり、急冷層の厚さは薄くならない。所定温度のピレットをセットしたときには、ピレットの表層 (例えば、深さ  $0.5mm$ ) に形成される急冷層の厚さは変化しない。つまり、急冷層は最も薄い状態である。その結果、成形品の表層と深層 (厚さの中心) との間におけるセラミックス体積含有率  $V_f$  のばらつきをこれ以上小さくすることはできない。

なお、皮膜厚さ  $t_i$  は、完成時の厚さで、例えば、切削後又は研削後の厚さであり、ここでは、 $500\mu m$  とした。

断熱手段としては、溶射被膜を採用せずに、シート、例えば、セラミックス (ケイ酸アルミニウム) の薄板を用いることも可能である。シートの厚さは、皮

膜厚さと同じである。

上型パンチ 8 2 B は、ピレットに接触する部位である第 1、第 2 および第 3 型面 1 8 3、1 8 4、1 8 5 を有する。第 1 型面 1 8 3 には、セラミックス皮膜 1 8 6 からなる断熱手段がプラズマ溶射で施されている。セラミックス皮膜 1 8 6 は、下型ダイ 8 1 B に施されたセラミックス皮膜 1 8 2 と同様であり、その説明を省略する。

第 9 の成形方法のピレット形成工程では、金属基複合材料 2 7 (図 2 C 参照) 又はアルミニウム基複合材ピレット 6 6 (図 5 C 参照) を用いて、図 1 8 B に示された第 9 ピレット 7 7 B を形成する。第 9 ピレット 7 7 B は、図 7 に示された第 2 ピレット 7 7 と同様であり、直径を  $D_2$ 、第 9 ピレット 7 7 B の高さを  $H_b$  に形成した。

図 1 8 B に示すように、加圧工程では、先ず、第 9 ピレット 7 7 B を  $580^{\circ}\text{C}$  以上に保持しながら、セラミックス皮膜が施された部分断熱金型 7 8 B にセットする。部分断熱金型 7 8 B を取り付けたプレス機 4 1 の稼働により成形を開始する。

加圧工程では、第 9 ピレット 7 7 B を下型ダイ 8 1 B のセラミックス皮膜 1 8 2 の上にセットすると、セラミックス皮膜 1 8 2 は第 9 ピレット 7 7 B の熱を矢印  $u_1$ 、 $u_2$  の如く断熱するので、第 9 ピレット 7 7 B の表層は急冷され難い。

図 1 8 C に示すように、上型パンチ 8 2 B を下降させてセラミックス皮膜 1 8 6 を第 9 ピレット 7 7 B に接触させ、第 9 ピレット 7 7 B を加圧する。

加圧工程では、第 9 ピレット 7 7 B に上型パンチ 8 2 B のセラミックス皮膜 1 8 6 を接触させると、セラミックス皮膜 1 8 6 は第 9 ピレット 7 7 B の熱を矢印  $u_3$ 、 $u_4$  の如く断熱するので、第 9 ピレット 7 7 B の表層は急冷され難い。

第 9 ピレット 7 7 B に圧力を加える過程においては、 $580^{\circ}\text{C}$  以上のアルミニウム合金 2 2 は、凝集体 2 1 の粒の間からしみ出るように流動する。詳しくは、第 9 ピレット 7 7 B は、表層に生成される急冷層は薄く、表層に位置するアルミニウム合金 2 2 の流動性は損なわれず、表層に位置するアルミニウム合金 2 2 は、深層に位置するアルミニウム合金 2 2 とほぼ同様に横方向に、小さい流動抵抗に抗して流動することができる。

図 18 D に示すように、上型パンチ 8 2 B は下降を続け、下降ストロークが下限に達すると同時に、第 9 の成形品 1 8 8 が完成する。

図 18 C に示された第 9 ビレット 7 7 B に圧力を加える過程においては、セラミックス皮膜 1 8 2、1 8 6 によって第 9 ビレット 7 7 B の温度低下は抑制され、締結部 1 9 1 の表層から深層におけるセラミックス体積含有率  $V_f$  のばらつきは、小さくなる。

このように、金属基複合材からなる第 9 の成形品 1 8 8 の成形方法に用いられる部分断熱金型 7 8 B は、図 1 8 A に示されるように第 9 ビレット 7 7 B に接触する下型ダイ 8 1 B の第 1 型面 1 7 7 にセラミックス皮膜 1 8 2 を施し、また、第 9 ビレット 7 7 B に接触する上型パンチ 8 2 B の第 1 型面 1 8 3 にセラミックス皮膜 1 8 6 を施した金型を用いる。このため、部分断熱金型 7 8 B の熱伝導率は断熱手段を施さない金型より小さくなり、金型側の熱伝導率を制御しない場合に比べ、金属基複合材製成形品の表層から深層におけるセラミックス体積含有率のばらつきを小さくすることができる。

次に、本発明の金属基複合材からなる第 10 の成形品を成形する第 10 の成形方法について、図 1 9 A ～ 図 1 9 D に基づいて説明する。図 1 8 A ～ 図 1 8 D に示した第 9 の成形方法に用いられた部材と同様の部材については、同一符号を付してその説明を省略する。第 10 の成形方法では、セラミックス皮膜を全体に施した全体断熱金型 7 8 C を用いることを特徴とする。

図 1 9 A に示した全体断熱金型 7 8 C は、下型ダイ 8 1 C と、上型パンチ 8 2 C と、図に示していない温度調整手段と、を備える。全体断熱金型 7 8 C の母材の材質は、例えば合金工具鋼である。

下型ダイ 8 1 C は、ビレットに接触する部位である第 1、第 2、第 3 および第 4 型面 1 9 2、1 9 3、1 9 4、1 9 5 を有する。第 1、第 2、第 3 および第 4 型面 1 9 2、1 9 3、1 9 4、1 9 5 には、セラミックス皮膜 1 8 2 断熱手段がプラズマ溶射で施されている。

上型パンチ 8 2 C は、ビレットに接触する部位である第 1、第 2 および第 3 型面 1 9 6、1 9 7、1 9 8 を有し、第 1、第 2 および第 3 型面 1 9 6、1 9 7、1 9 8 には、セラミックス皮膜 1 8 6 からなる断熱手段がプラズマ溶射で施され

ている。

加圧工程では、図 18B に示した第 9 ビレット 77B と同じ構成の第 10 ビレット 77C を 580℃ 以上に保持しながら、セラミックス皮膜を施した全体断熱金型 78C にセットし、全体断熱金型 78C を取り付けたプレス機 41 の稼働により成形を開始する。

図 19B に示されるように、第 10 ビレット 77C に圧力を加える過程では、流出するアルミニウム合金 22 の先端 201 (図の左)、202 (図の右) は、セラミックス皮膜 182、186 によって矢印 u5 の方向には断熱されるため、温度低下に伴う流動抵抗の増加は起き難い。

図 19C は、図 19B に示された成形途中の第 10 ビレット 77C の状態を示している。流動するアルミニウム合金 22 の先端 201、202、203、204 は、図 19B に示された全体断熱金型 78C に施したセラミックス皮膜 182、186 の断熱によって温度低下に伴う流動抵抗の増加は起き難い。その結果、図 19C に示した締結部 205 の両面の表層に位置するアルミニウム合金 22 は、深層に位置するアルミニウム合金 22 と同様に矢印 w の如く流動する。従って、締結部 205 の表層から深層におけるセラミックス体積含有率  $V_f$  のばらつきはより小さくなる。

図 19D に示すように、上型パンチ 82C の下降を続け、下降ストロークが下限に達すると同時に、第 10 の成形品 206 が完成する。

第 10 ビレットに圧力を加える過程では、セラミックス皮膜 182、186 によって流出する第 10 ビレットの先端の温度低下も抑制するので、締結部 205 の表層から深層におけるセラミックス体積含有率  $V_f$  のばらつきは、セラミックス皮膜 182、186 を施していない金型より小さくなる。

図 20 は、本発明の成形方法において、断熱手段を施していない金型と、断熱手段が施された金型との成形品のセラミックス体積含有率の関係を示したグラフである。横軸は、断熱なし、部分断熱、全体断熱の金型あり、縦軸はセラミックス体積含有率  $V_f$  である。なお、成形の条件は、プレス圧力  $P$  はビレットの投影面積に対する面圧で  $650 \text{ kg/cm}^2$ 、加圧速度  $V_p$  は約  $130 \text{ mm/秒}$ 、ビレットの加熱する所定温度は  $580^\circ\text{C}$  以上、圧縮比  $R_h$  は 6.8、金型温度は

- 32 -

300℃、金型に溶射したセラミックス皮膜の皮膜厚さは500μmである。

○印は、締結部の一方の表層で、深さ0.5mmの位置におけるセラミックス体積含有率Vfを示す。

◎印は、締結部の他方の表層で、深さ0.5mmの位置におけるセラミックス体積含有率Vfを示す。

●印は、締結部の深層で、厚さの中心となる深さ4mmの位置におけるセラミックス体積含有率Vfを示す。

断熱なしは、セラミックス皮膜を施さない金型であって、図7に示した金型78に相当する。

部分断熱は、ピレットに接触する部位の中央にのみセラミックス皮膜を施した金型であって、図18Aに示した金型78Bに相当する。

全体断熱は、ピレットに接触する部位の全体にセラミックス皮膜を施した金型であって、図19Aに示した金型78Cに相当する。

断熱なしの金型では、セラミックス体積含有率Vfは28%～42%で、ばらつき（最大値と最小値の差）は14である。

部分断熱の金型では、セラミックス体積含有率Vfは31%～39%で、ばらつきは8まで小さくなる。

全体断熱の金型では、セラミックス体積含有率Vfは33%～38%で、ばらつきは5までさらに小さくなる。

#### 産業上の利用可能性

本発明の成形方法によって成形された金属基複合材からなる成形品は部位によって強度が異なるため、車両用のブレーキディスクの他、各種産業機械に用いられる部材にも適用可能である。



## 請 求 の 範 囲

1. 金属基複合材製成形品の成形方法であって、

金属からなるマトリックスとセラミックスからなる補強材とを混合して金属基複合材料からなるビレットを得る工程と；

前記ビレットを所定温度に加熱する工程と；

前記所定温度に加熱されたビレットを金型を用いて加圧成形する工程と；  
から成り、成形前の前記ビレットの高さを $H$ とし、成形後のビレットの高さを $h_1$ とすることにより、ビレットの圧縮比を $H/h_1$ としたとき、該圧縮比を成形品の部位別に変えることで、該成形品のセラミックス体積含有率を部位別に異ならせるようにしたことを特徴とする金属基複合材製成形品の成形方法。

2. 前記ビレットは、部位別に高さに変化をもたせたことを特徴とする請求項 1 記載の金属基複合材製成形品の成形方法。

3. 前記加圧成形は、分割金型を用いて行うことを特徴とする請求項 1 記載の金属基複合材製成形品の成形方法。

4. 前記加圧成形は、前記ビレットに接触する部位に断熱手段を施した金型を用いて行うことを特徴とする請求項 1 記載の金属基複合材製成形品の成形方法。

5. 前記マトリックスはアルミニウム合金を用い、前記セラミックスはアルミナの凝集体を用いたことを特徴とする請求項 1、請求項 2、請求項 3 又は請求項 4 記載の金属基複合材製成形品の成形方法。

6. 前記加熱工程は、前記ビレットを  $580^{\circ}\text{C}$  以上に加熱することを特徴とする請求項 1 に記載の金属基複合材製成形品の成形方法。

1/27

図 1A

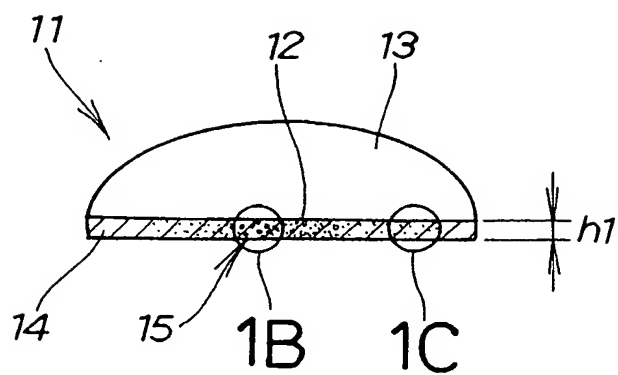


図 1B

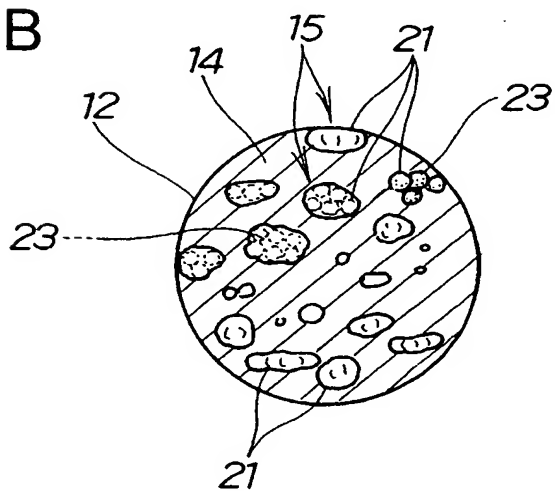
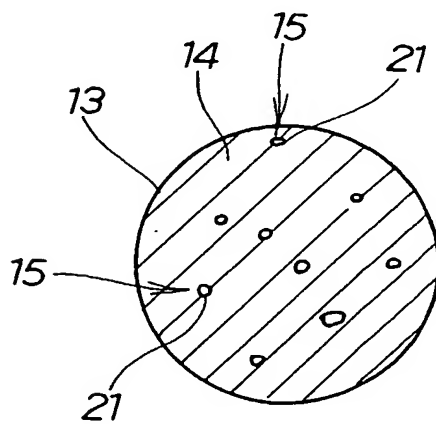


図 1C



2/27

図 2A

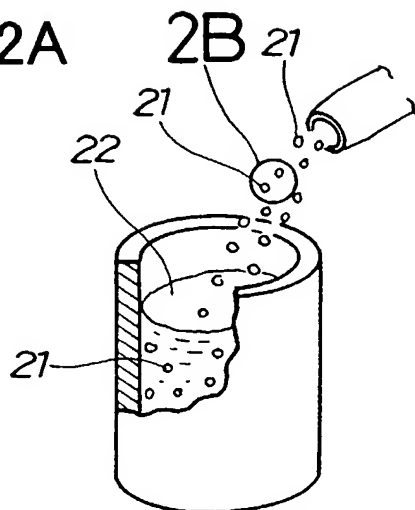


図 2B

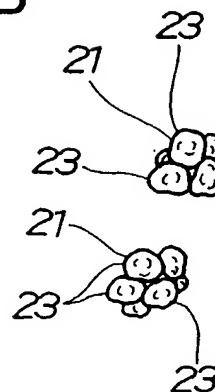


図 2C

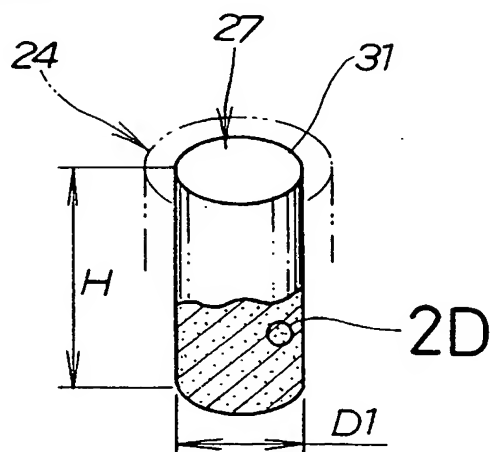
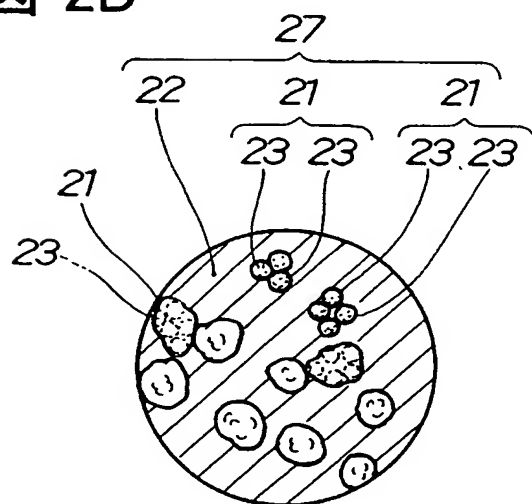


図 2D



3/27

図 2E

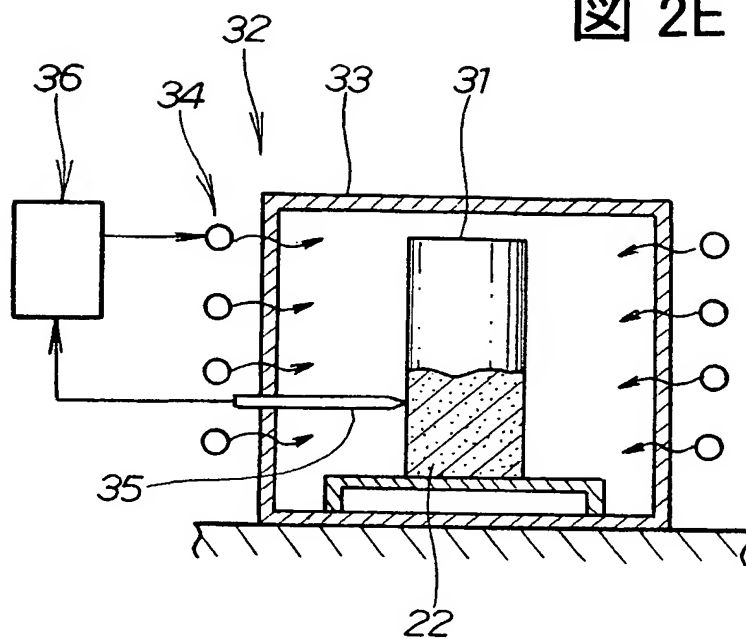
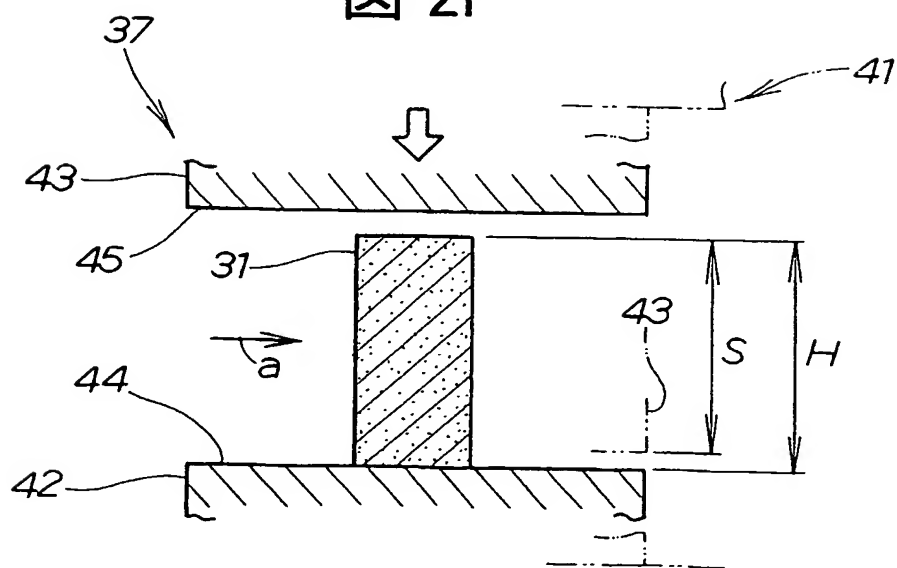


図 2F



4/27

図 2G

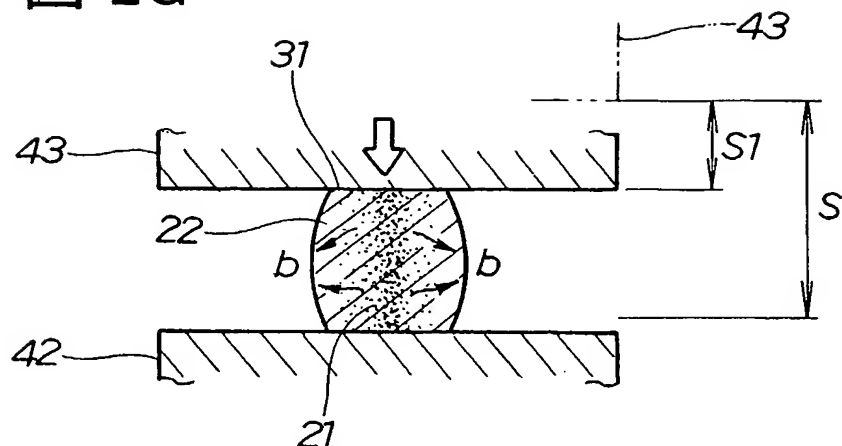


図 2H

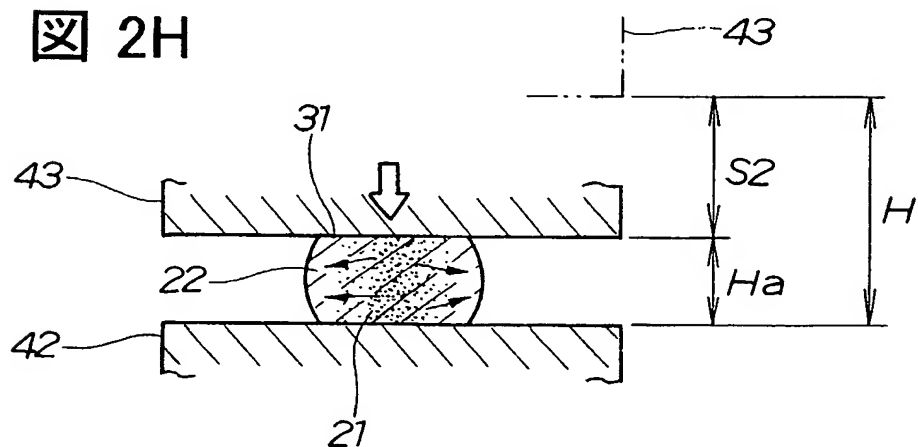
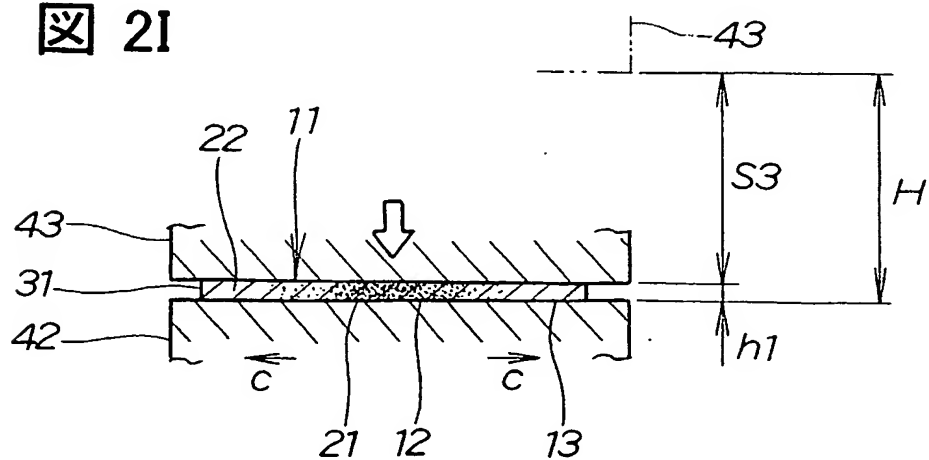
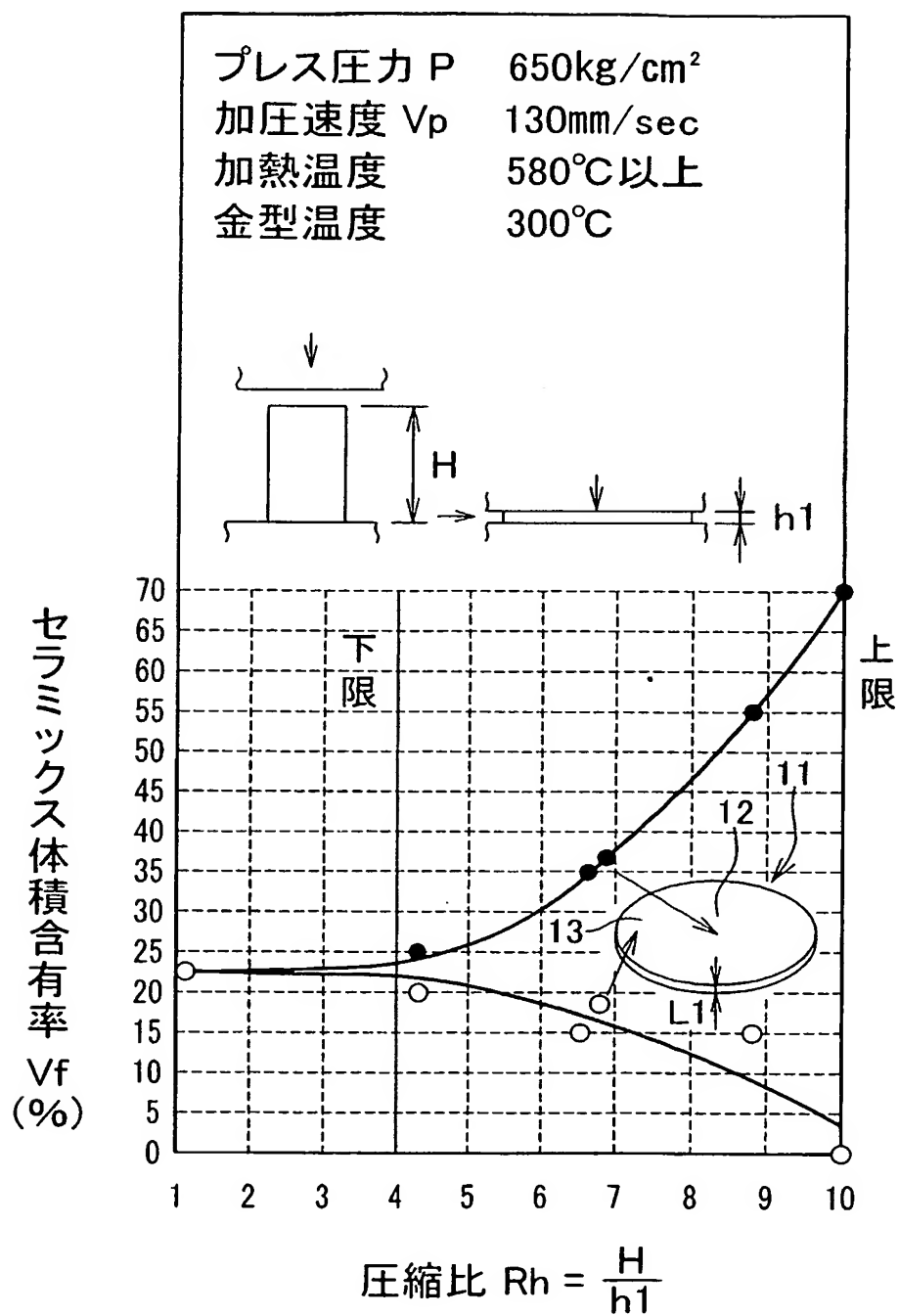


図 2I



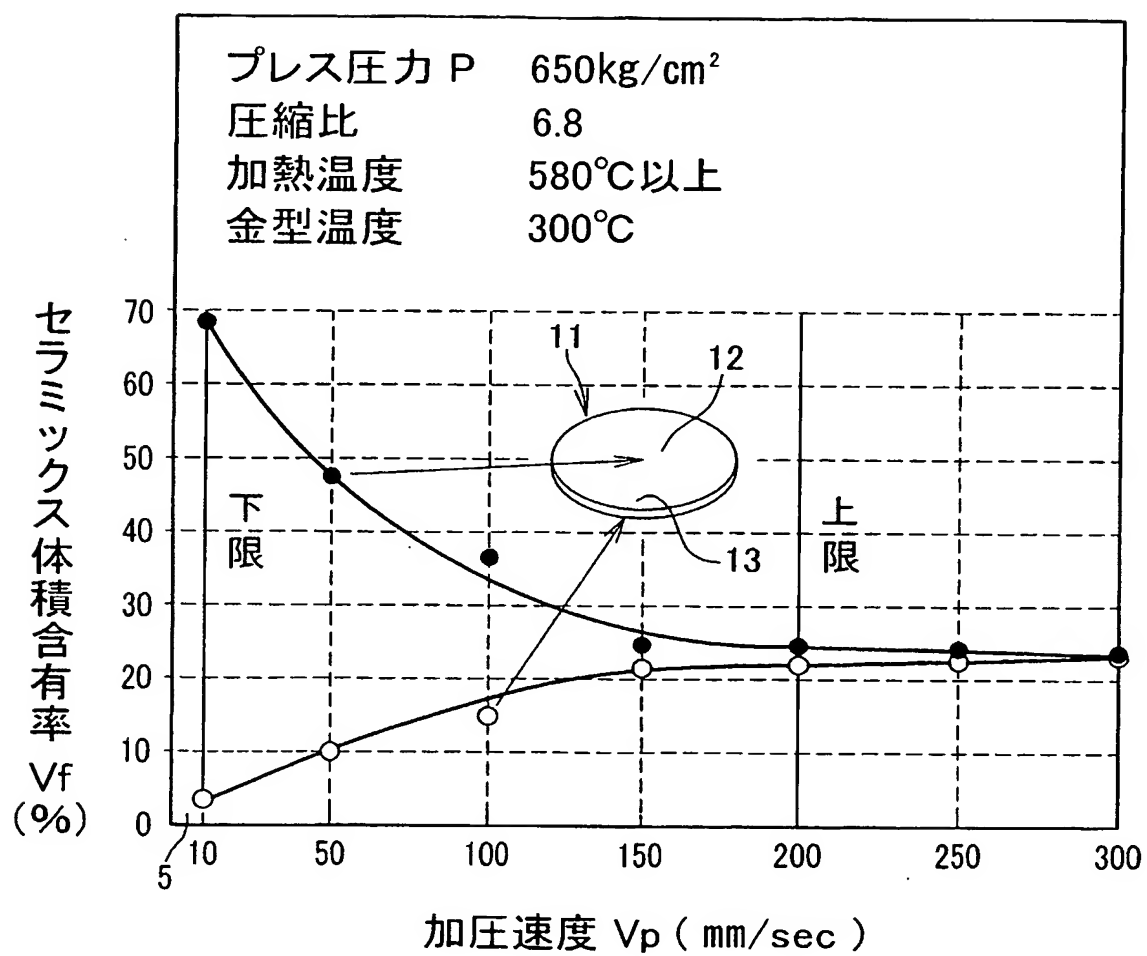
5/27

図 3



6/27

図 4



**図 5A**

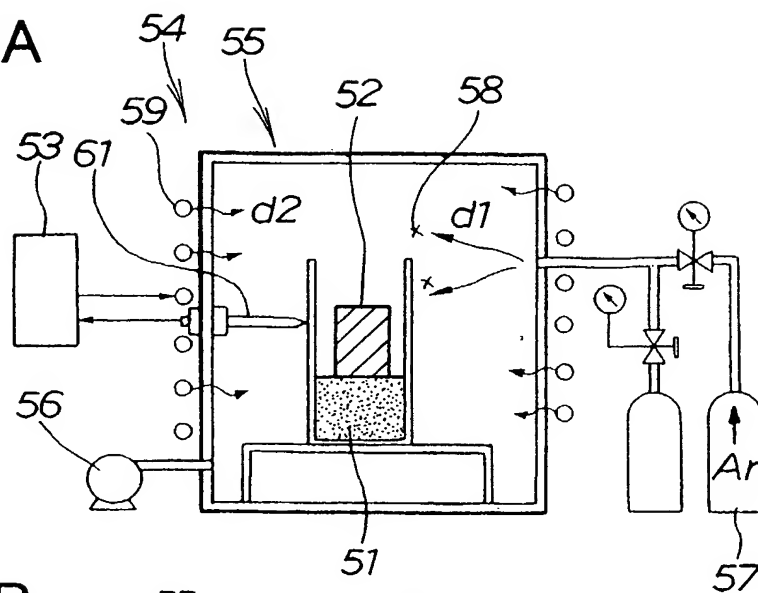
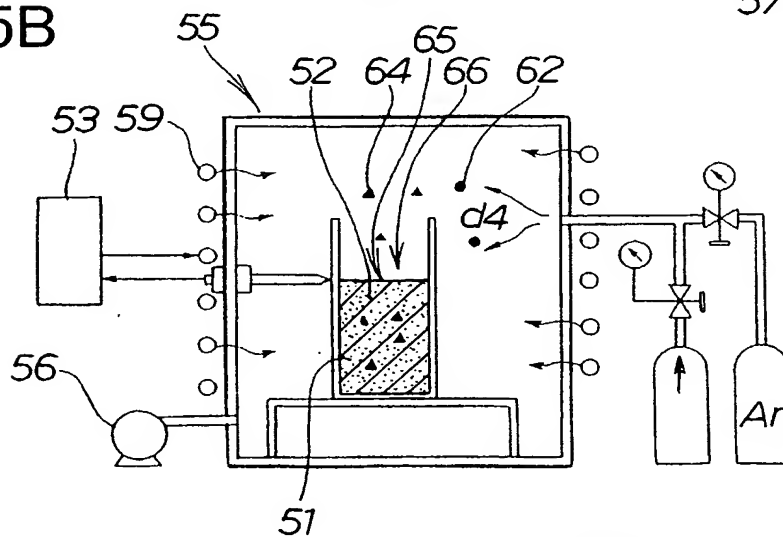
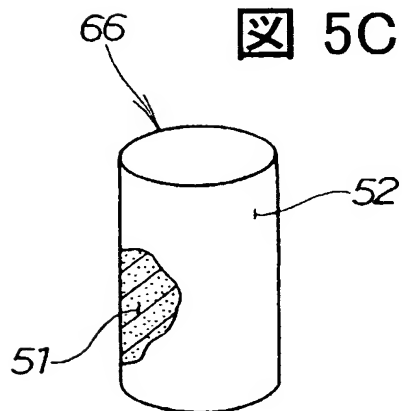


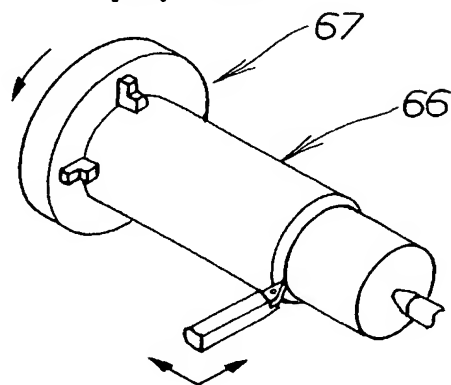
図 5B



**図 5C**



**図 5D**





8/27

図 6

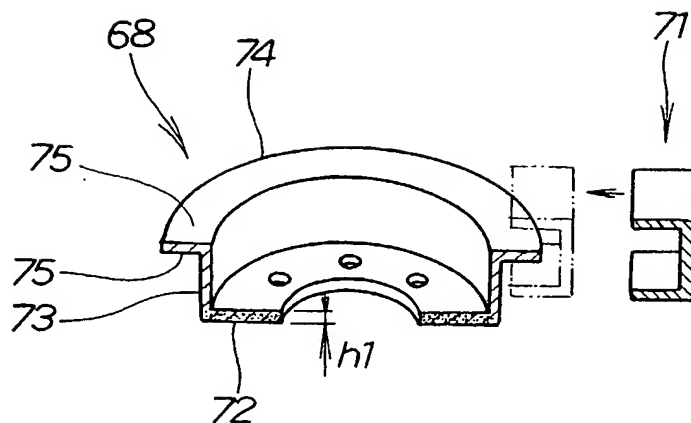
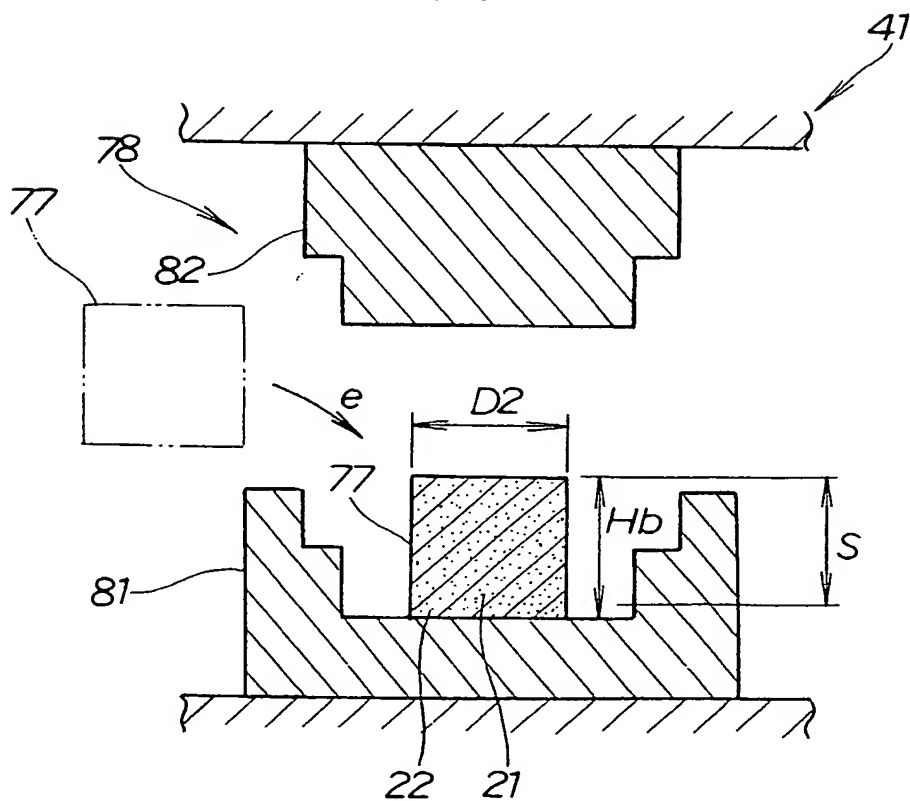


図 7



9/27

図 8A

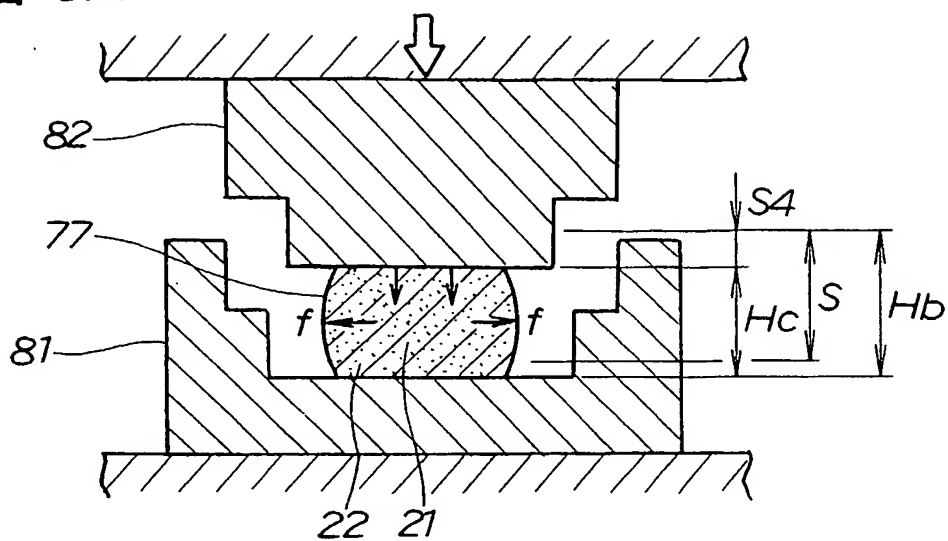


図 8B

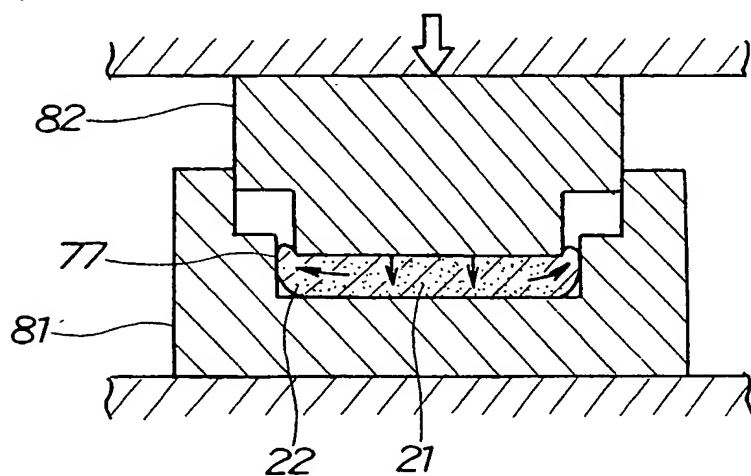
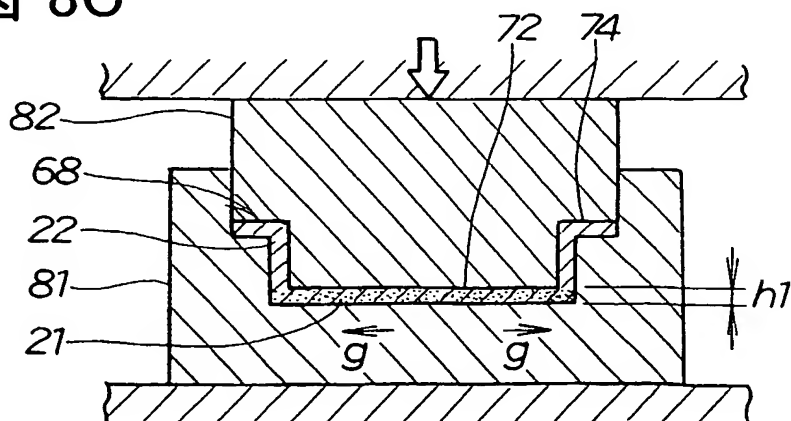
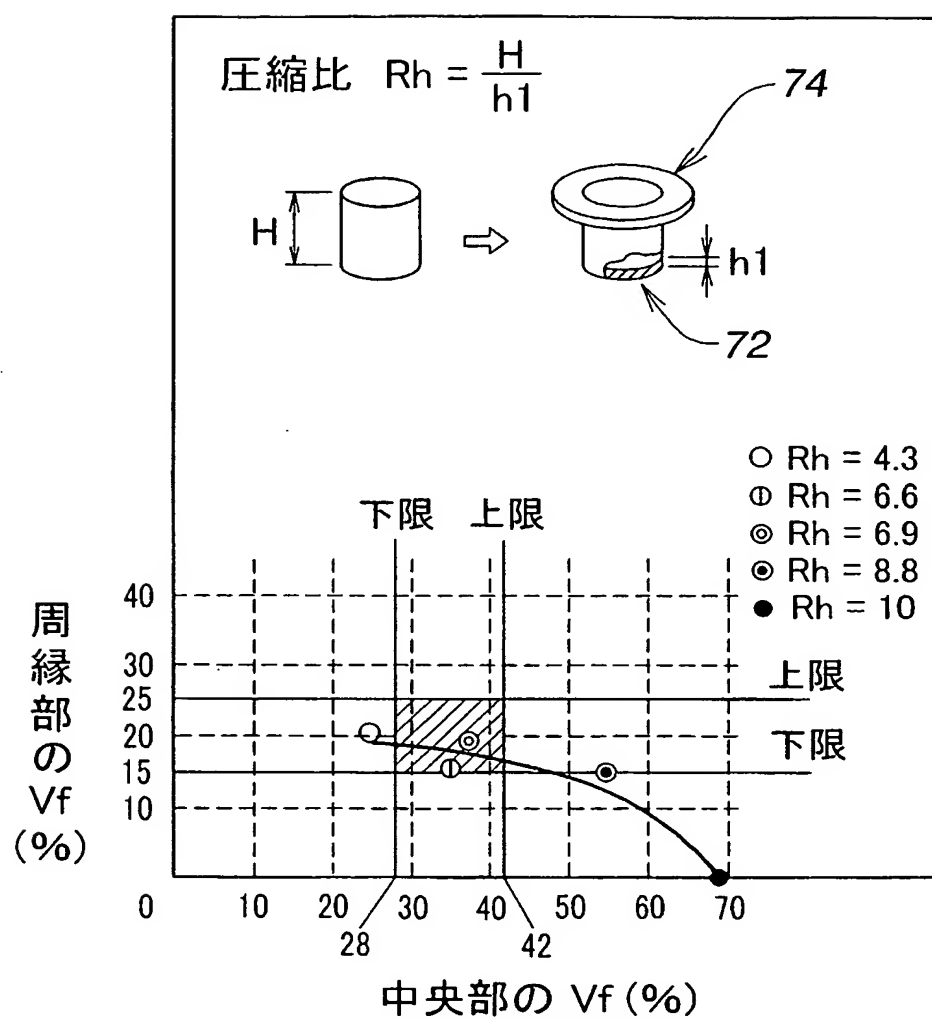


図 8C



10/27

図 9



11/27

図 10A

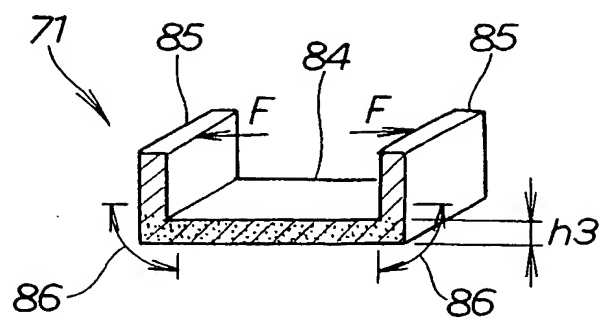


図 10B

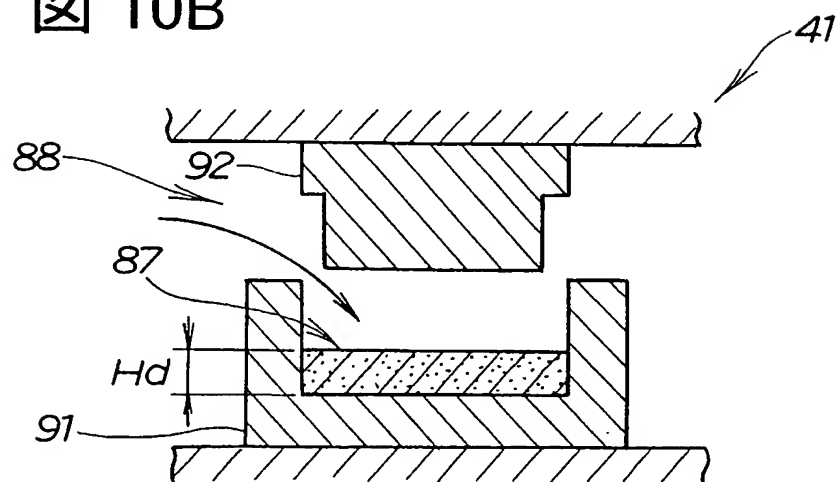
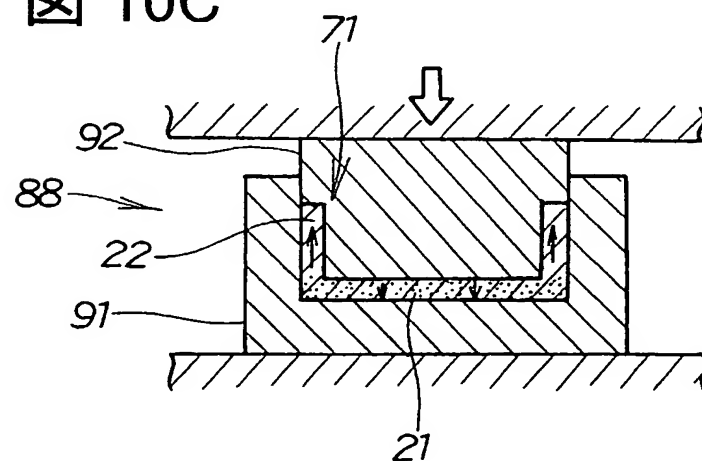
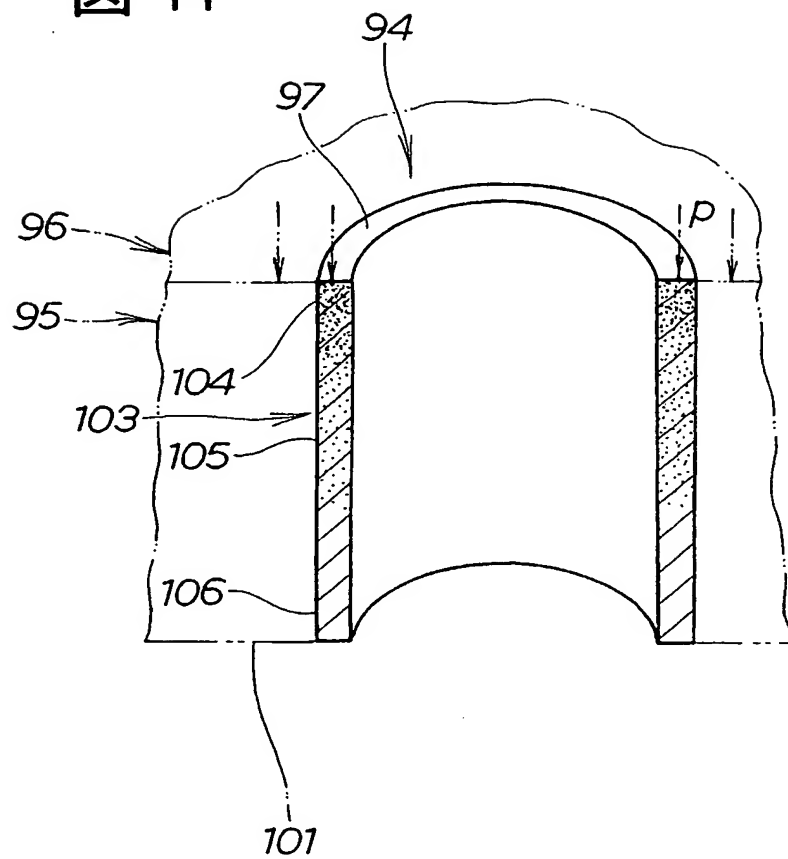


図 10C



12/27

図 11



13/27

図 12A

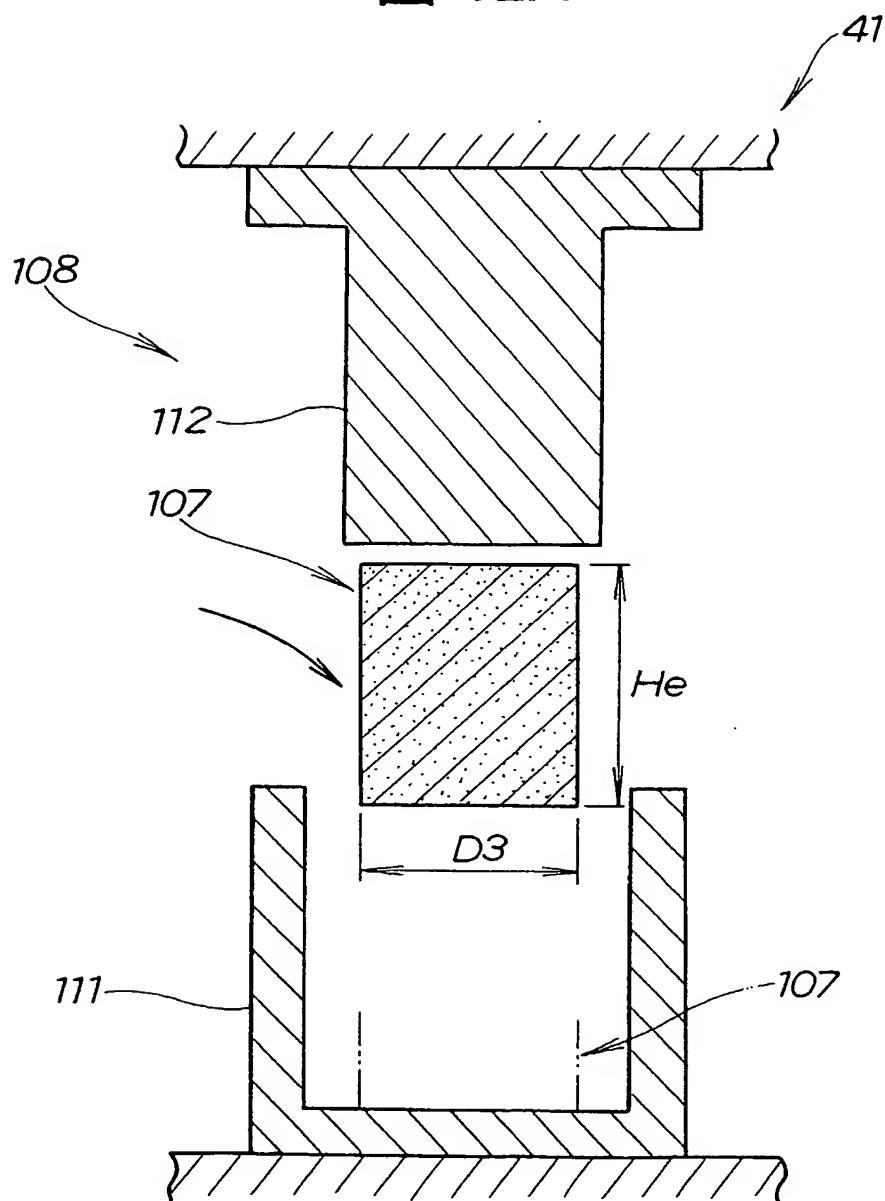


図 12B

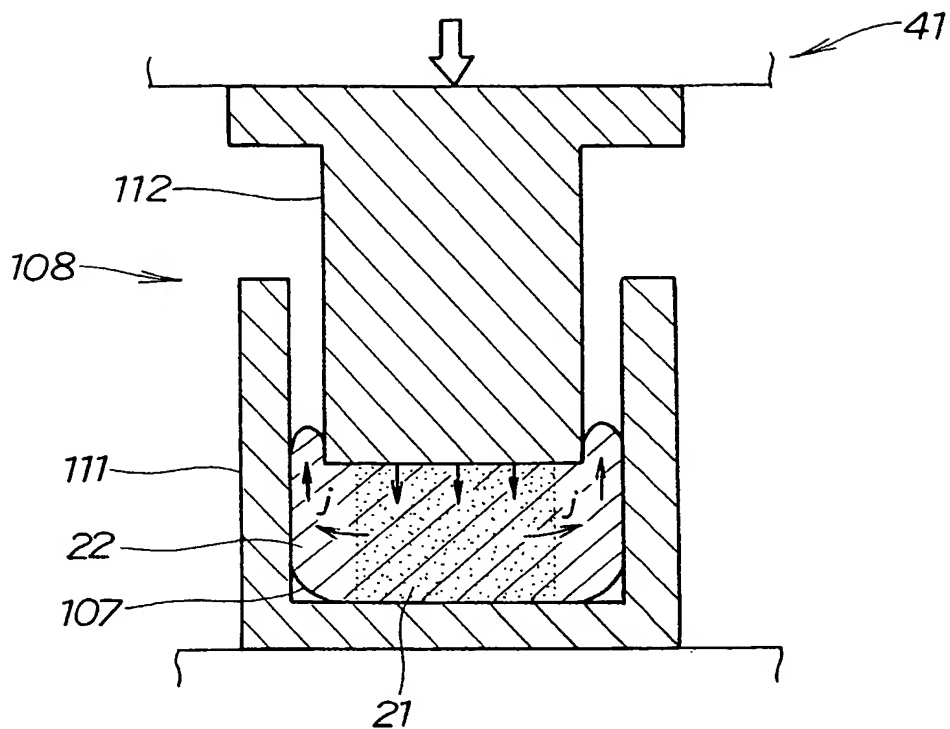


図 12C

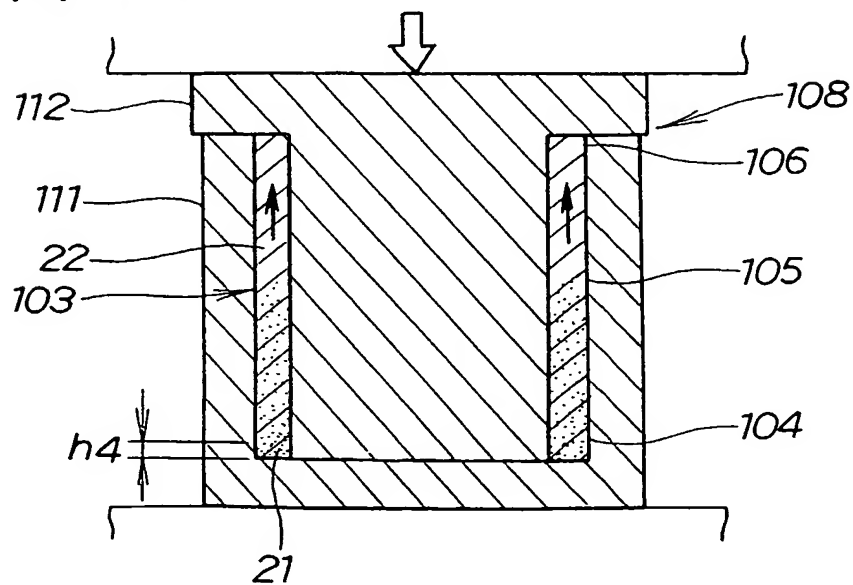
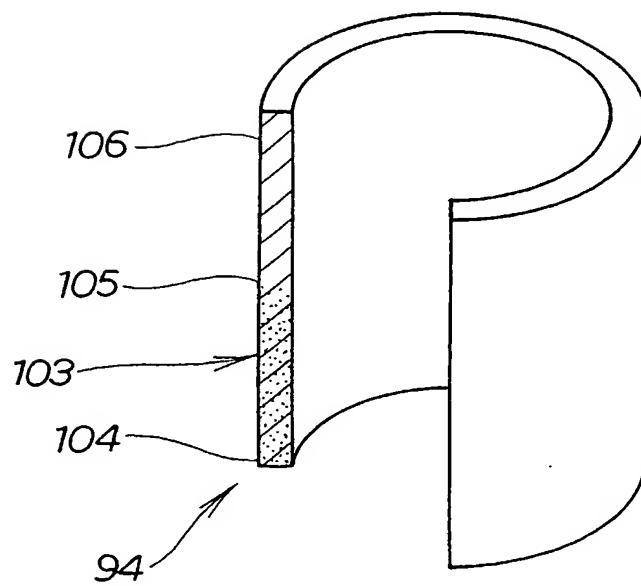


図 12D





16/27

図 13A

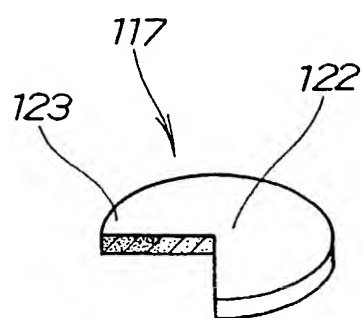


図 13B

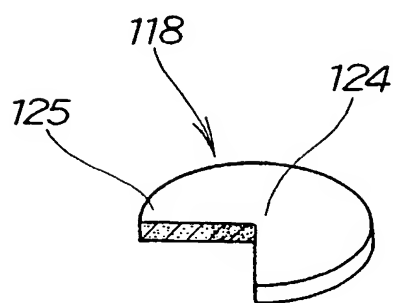
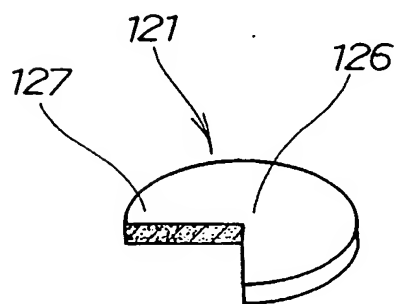


図 13C



17/27

図 14A

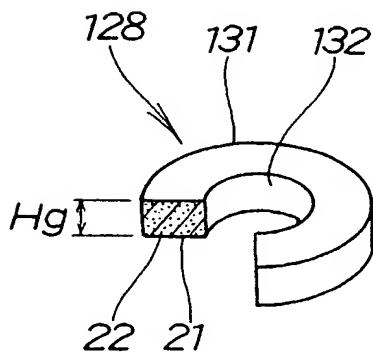


図 14B

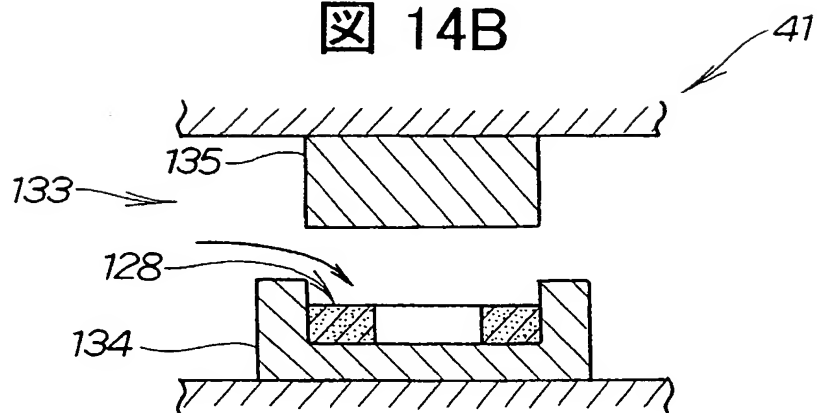
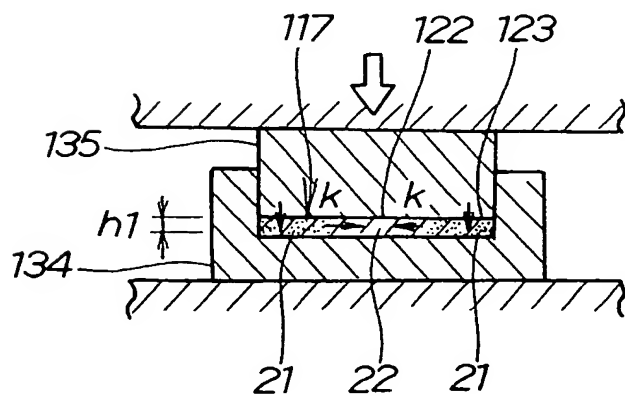


図 14C



18/27

図 15A

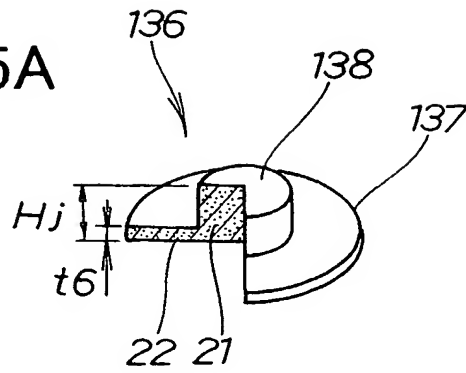


図 15B

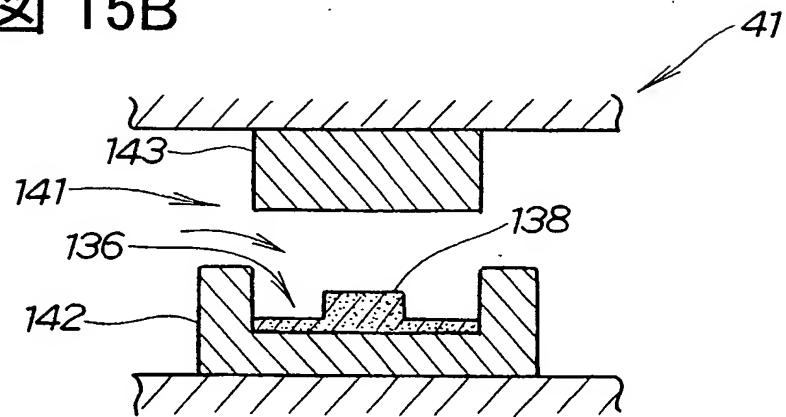


図 15C

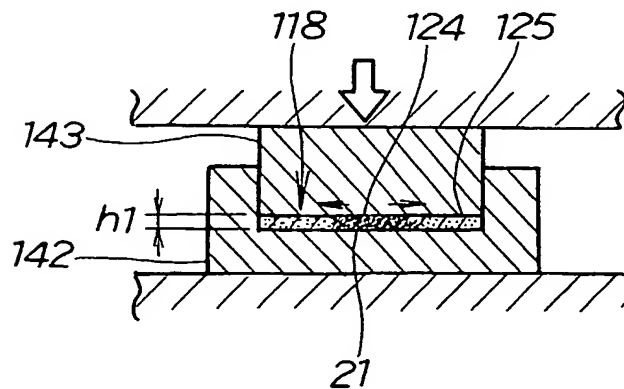


図 16A

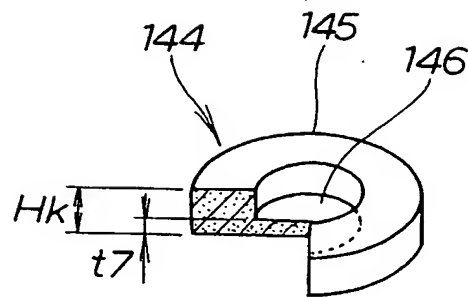


図 16B

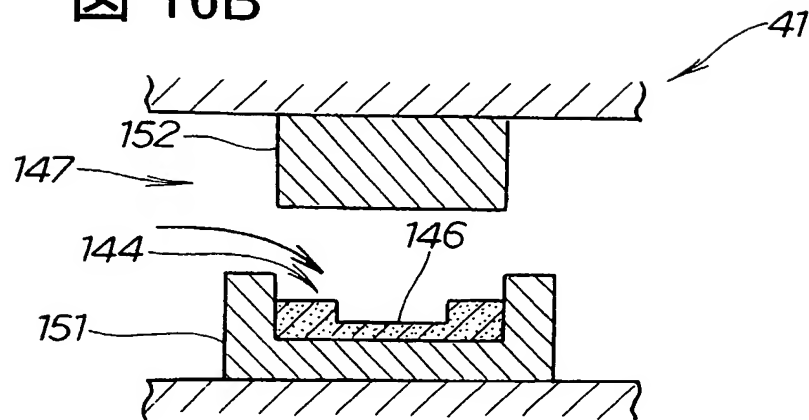


図 16C

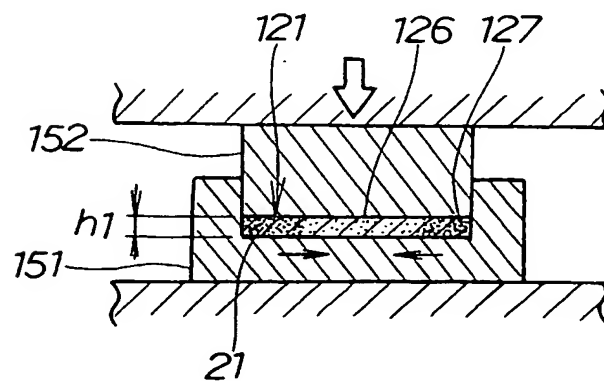


図 17A

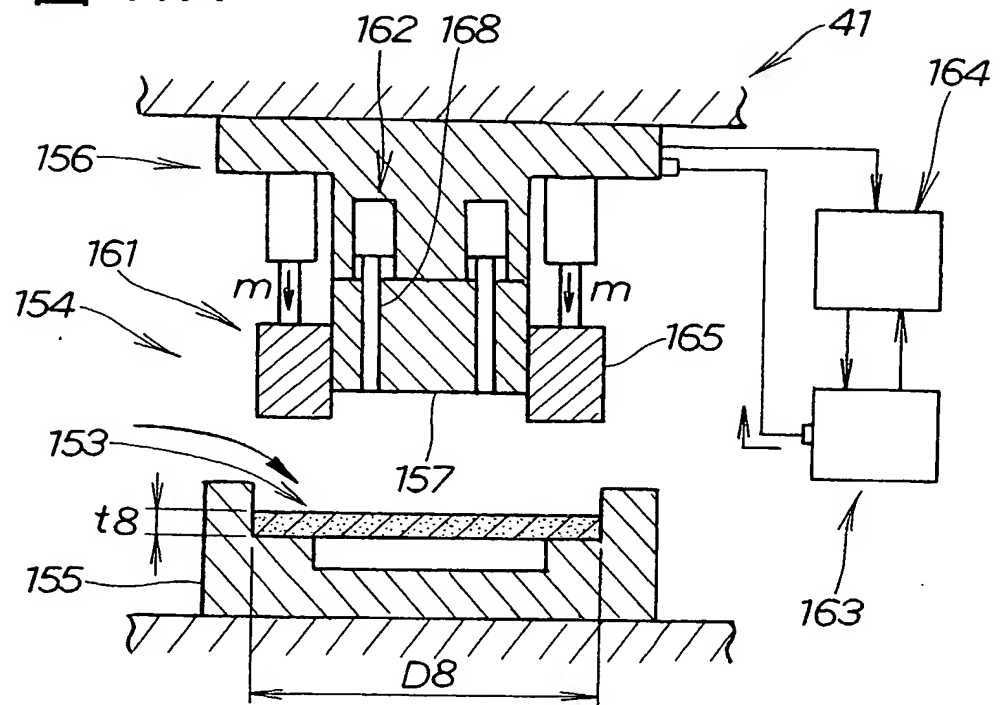
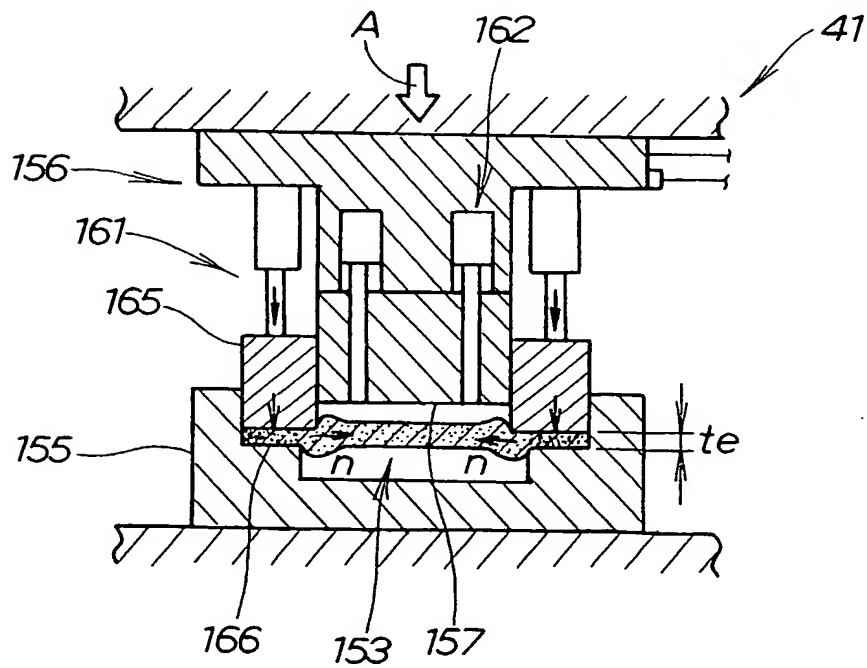


図 17B



21/27

図 17C

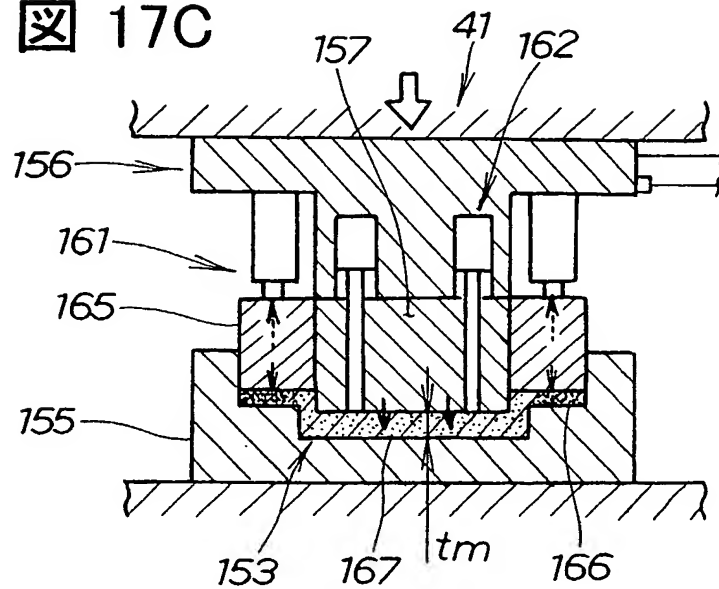


図 17D

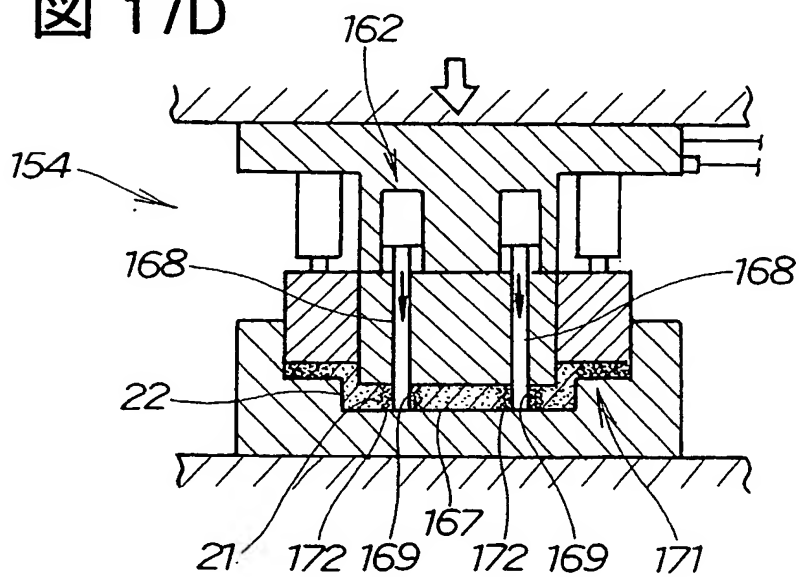
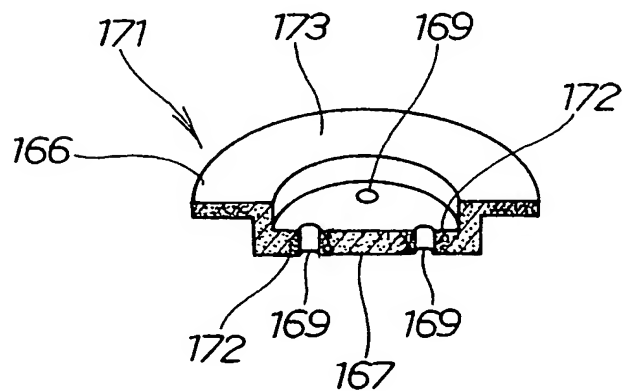


図 17E



22/27

図 18A

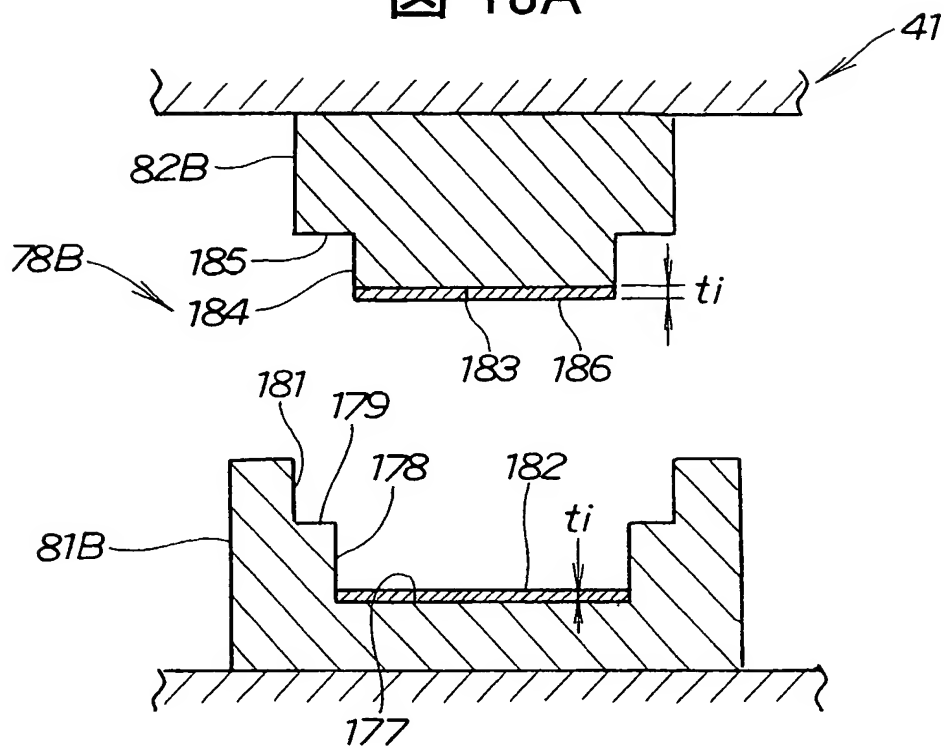


図 18B

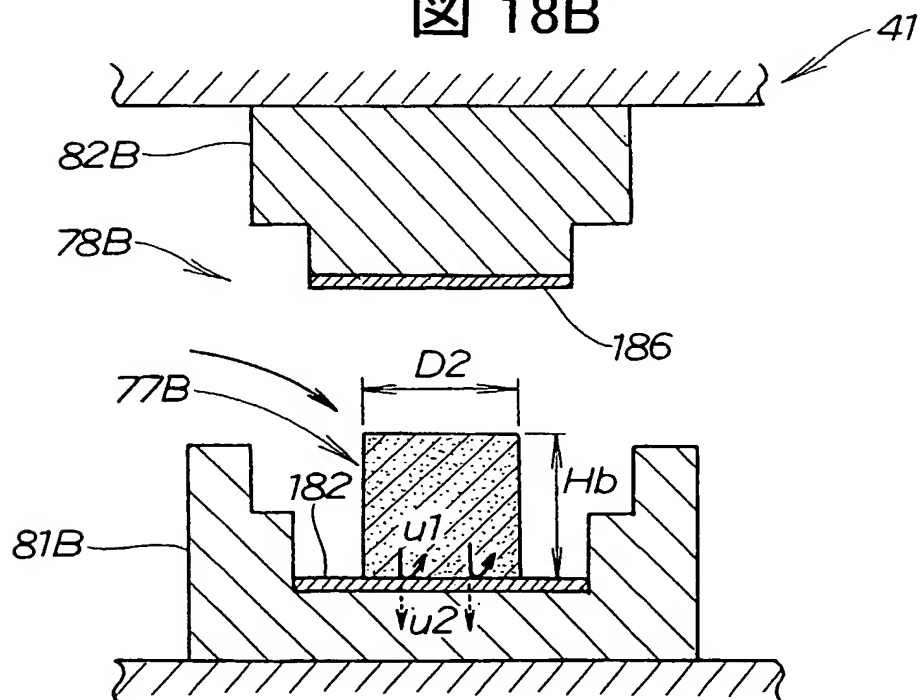


図 18C

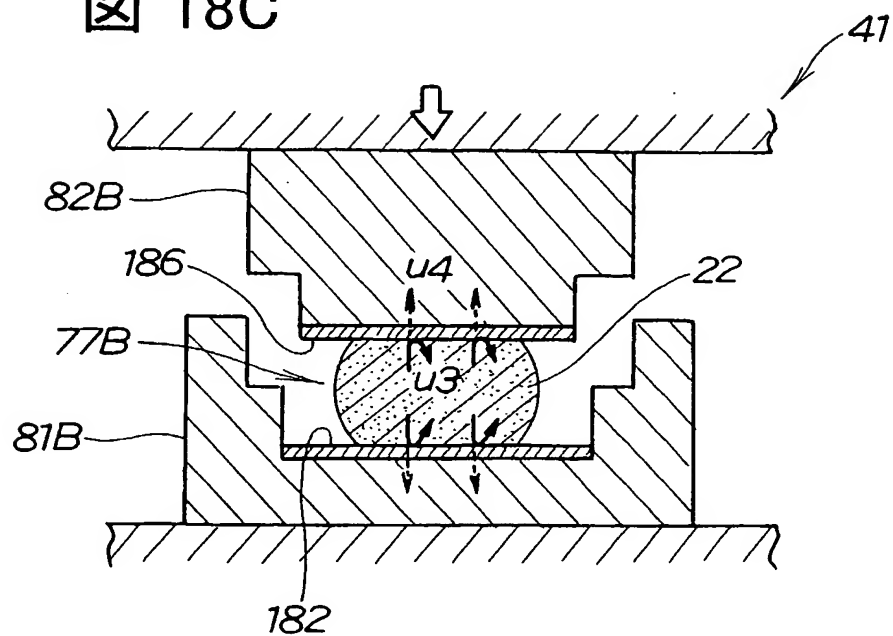


図 18D

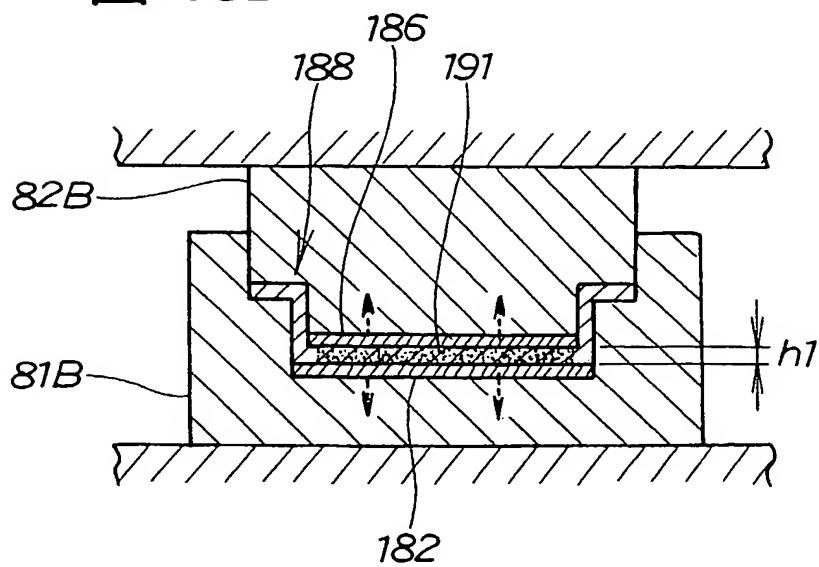




図 19A

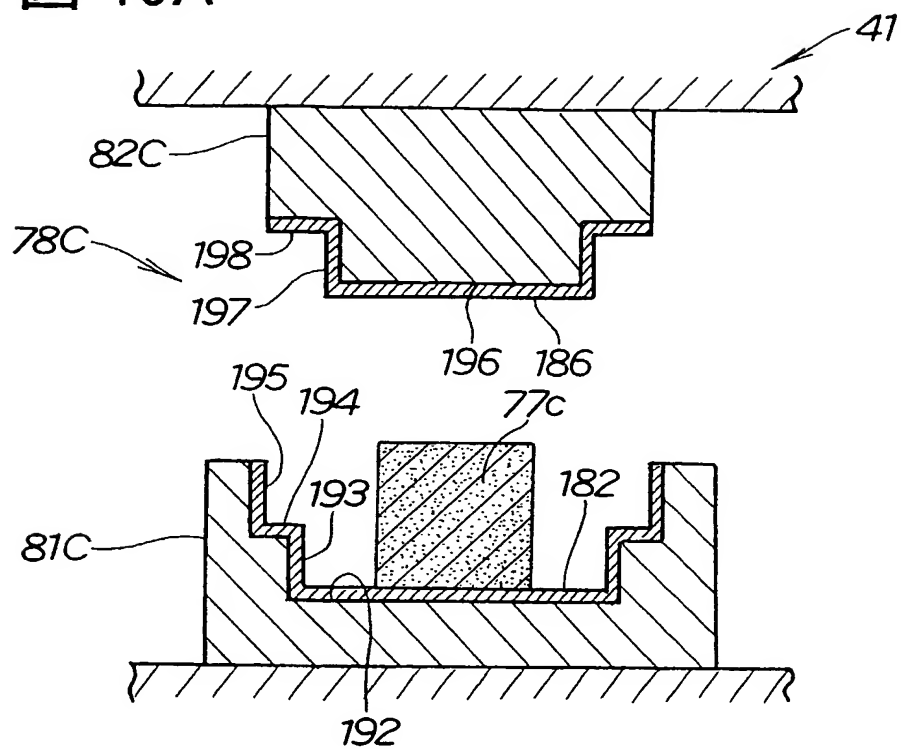
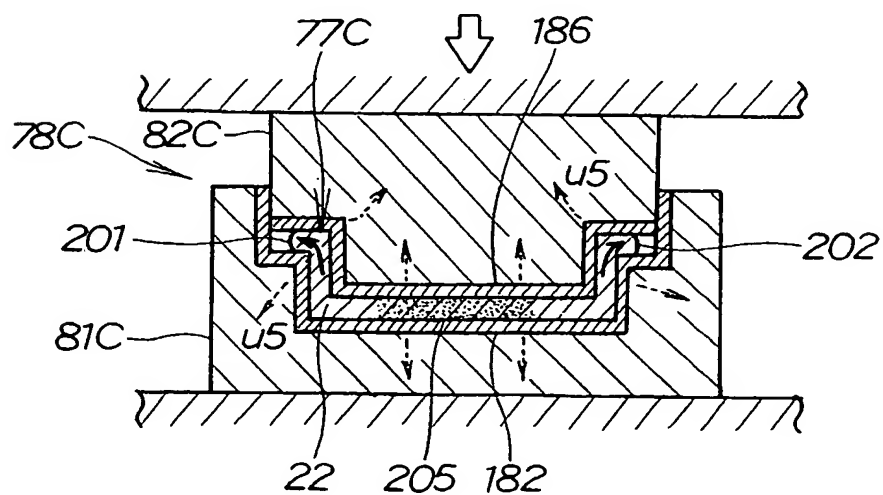


図 19B



25/27

図 19C

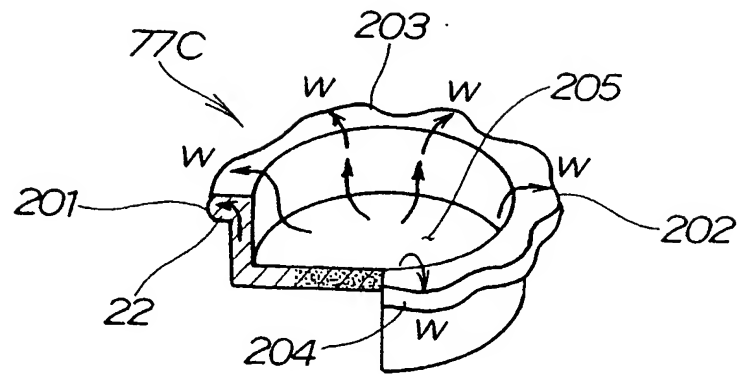


図 19D

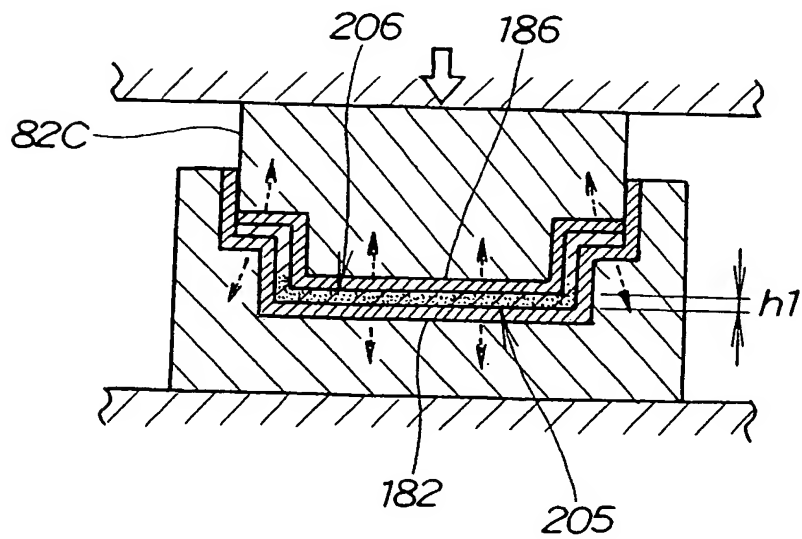
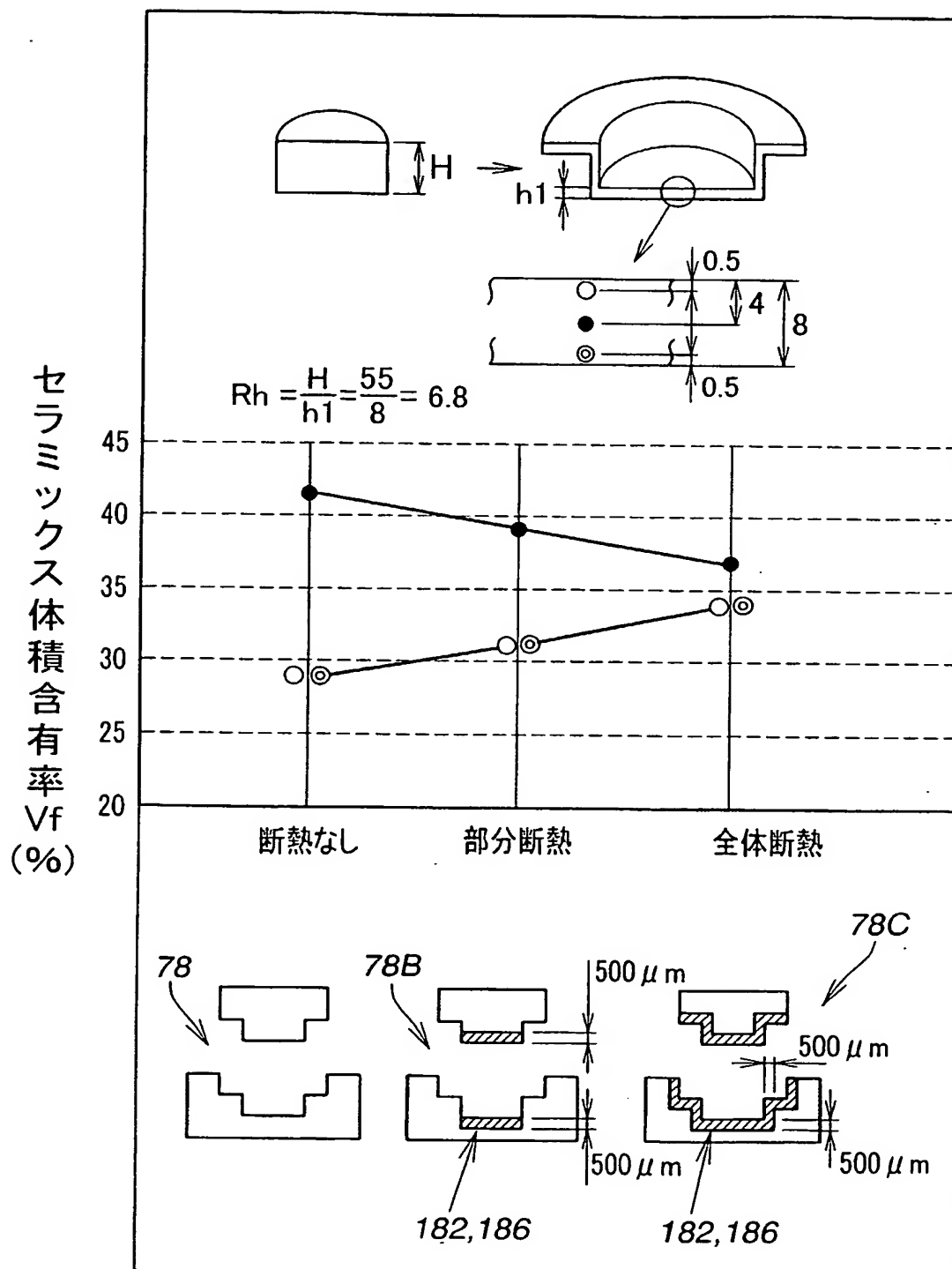


図 20



27/27

図 21  
(先行技術)

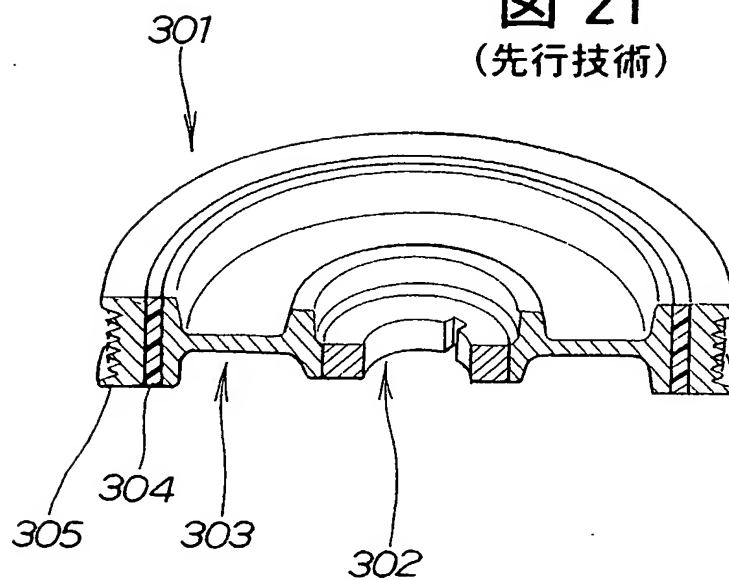


図 22A  
(先行技術)

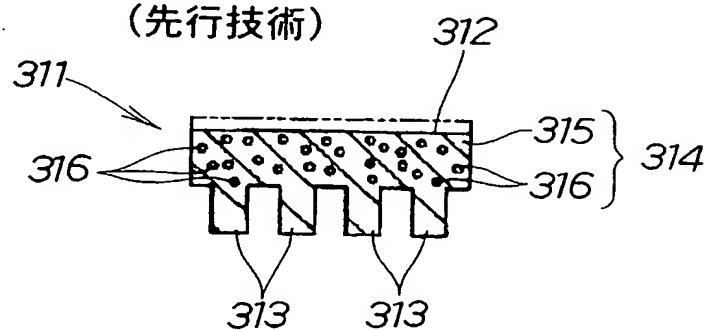


図 22B  
(先行技術)

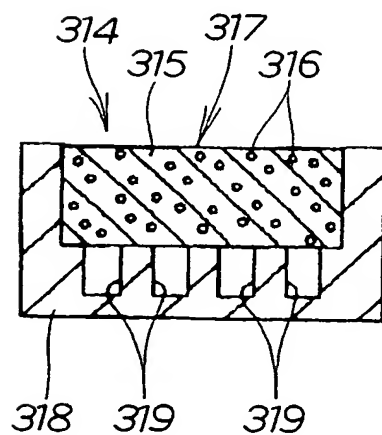
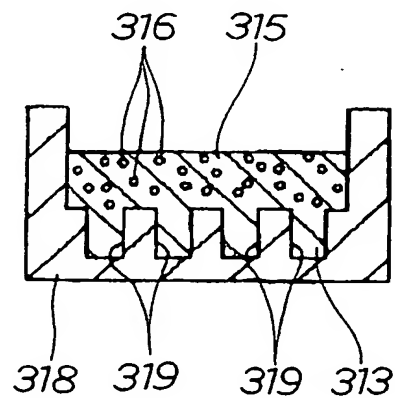


図 22C  
(先行技術)



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/019814

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> Int.Cl <sup>7</sup> B21J5/08, 1/06, 5/00, 13/02, B30B11/00										
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC										
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl <sup>7</sup> B21J1/00-13/14, 17/00-19/04, B21K1/00-31/00, B30B11/00, C22C32/00										
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched <table border="0"> <tr> <td>Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1926-1996</td> <td>Jitsuyo Shinan Toroku Koho</td> <td>1996-2005</td> </tr> <tr> <td>Kokai Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1971-2005</td> <td>Toroku Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1994-2005</td> </tr> </table>			Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005	Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005
Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005							
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005							
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)										
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>										
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.								
A	JP 2003-193168 A (Honda Motor Co., Ltd.), 09 July, 2003 (09.07.03), Full text (Family: none)	1-6								
A	JP 10-288085 A (Yamaha Motor Co., Ltd.), 27 October, 1998 (27.10.98), Full text & EP 870919 A1 & US 6240827 B1	1-6								
A	JP 2-115340 A (Showa Aluminum Corp.), 27 April, 1990 (27.04.90), Full text & US 4933007 A	1-6								
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.										
<table border="0"> <tr> <td>           * Special categories of cited documents:            "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance            "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date            "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)            "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means            "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed         </td> <td>           "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention            "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone            "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art            "&amp;" document member of the same patent family         </td> </tr> </table>			* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family						
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family									
Date of the actual completion of the international search 30 March, 2005 (30.03.05)		Date of mailing of the international search report 12 April, 2005 (12.04.05)								
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer								
Facsimile No.		Telephone No.								

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/019814

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 1-240633 A (Showa Aluminum Corp.), 26 September, 1989 (26.09.89), Full text (Family: none)	1-6
A	JP 63-199839 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 18 August, 1988 (18.08.88), Full text (Family: none)	1-6

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.<sup>7</sup> B 21 J 5/08, 1/06, 5/00, 13/02, B 30 B 11/00

## B. 調査を行った分野

## 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.<sup>7</sup> B 21 J 1/00-13/14, 17/00-19/04, B 21 K 1/00-31/00, B 30 B 11/00, C 22 C 32/00

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996  
 日本国公開実用新案公報 1971-2005  
 日本国実用新案登録公報 1996-2005  
 日本国登録実用新案公報 1994-2005

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P 2003-193168 A (本田技研工業株式会社) 2 003.07.09, 文献全体 (ファミリーなし)	1-6
A	J P 10-288085 A (ヤマハ発動機株式会社) 199 8.10.27, 文献全体 & E P 870919 A1 & US 6240827 B1	1-6
A	J P 2-115340 A (昭和アルミニウム株式会社) 19 90.04.27, 文献全体 & US 4933007 A	1-6

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

30.03.2005

国際調査報告の発送日

12.4.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

金澤 俊郎

3 P

8614

電話番号 03-3581-1101 内線 3363

